

## 米国出願用明細書

**Title of the Invention**      投影露光装置および方法、反射屈折光学系、並びにデバイス製造方法

### Technical field

本発明は、半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、または薄膜磁気ヘッド等のデバイスを製造するためのフォトリソグラフィ工程において原版（マスク、レチクル等）をワークピース（基板等）上に転写する際に用いられる投影露光装置および方法、並びに該投影露光装置に好適な高解像の反射屈折型の投影光学系に関する。

### Background Art

半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、フォトマスクまたはレチクル（以下、総称して「レチクル」という）のパターン像を投影光学系を介して、フォトリソレジスト等が塗布されたウエハまたはガラスプレート等のワークピース上に露光する投影露光装置が使用されている。そして、半導体素子等の集積度が向上するにつれて、投影露光装置の投影光学系に要求される解像力（解像度）が益々高まっている。その結果、投影光学系の解像力に対する要求を満足するために、照明光（露光光）の波長を短くするとともに投影光学系の開口数（NA）を大きくする必要がある。

たとえば、波長が180nm以下の露光光を用いると、0.1μm以下の高解像を達成することが可能である。しかしながら、照明光の波長が短くなると光の吸収が顕著となり、実用に耐え得る硝材（光学材料）の種類は限定される。特に、照明光の波長が180nm以下になると、実用的に使用可能な硝材は螢石だけに限定される。その結果、屈折型の投影光学系では、色収差の補正が不可能となる。ここで、屈折型の光学系とは、パワーを有する反射鏡（凹面反射鏡または凸面反射鏡）を含むことなく、レンズ成分のような透過光学部材だけを含む光学系である。

上述のように、単一の硝材からなる屈折型の投影光学系では許容色収差に限界があり、レーザー光源の極狭帯化が必須となる。この場合、レーザー光源のコストの増大および出力の低下は免れない。また、屈折光学系では、像面湾曲量を決定するペッツバル和(Petzval Summation)を0に近づけるために、多数の正レンズおよび負レンズを配置する必要がある。これに対して、凹面反射鏡は光を収束する光学素子として正レンズに対応するが、色収差が生じない点、およびペッツバル和が負の値をとる（ちなみに正レンズは正の値をとる）点において、正レンズとは異なる。

凹面反射鏡とレンズとを組み合わせて構成された、いわゆる反射屈折光学系では、凹面反射鏡の上述の特徴を光学設計上において最大限に活用し、単純な構成にもかかわらず色

収差の良好な補正や像面湾曲をはじめとする諸収差の良好な補正が可能である。しかしながら、凹面反射鏡に対する入射光束と射出光束とを如何に分離するかが最大の難点であり、この分離方式について種々の技術が提案されている。

たとえば、特開平 8-62502 号公報（米国特許第 5,861,997 号公報）には、投影露光装置において光軸を含まない露光領域（軸外視野）を用いる反射屈折光学系であって、光学系の途中で 2 回中間像を形成し、中間像の近傍で光束の分離を空間的に行うタイプの反射屈折光学系が開示されている。

### Summary of the Invention

本発明は、光学調整および機械設計が容易で、色収差をはじめとする諸収差が十分に補正され、たとえば波長が 180nm 以下の真空紫外線波長域の光を用いて 0.1  $\mu\text{m}$  以下の高解像を達成することのできる反射屈折光学系を提供することを目的とする。

また、本発明は、光学調整および機械設計が容易で、色収差をはじめとする諸収差が十分に補正され、たとえば 0.1  $\mu\text{m}$  以下の高解像を確保し、且つ実効露光領域の光軸からの軸外し量を小さく設定することのできる投影露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

また、本発明は、たとえば 0.1  $\mu\text{m}$  以下の高解像で良好なマイクロデバイスを製造することのできるマイクロデバイス製造方法を提供することを目的とする。

上述の目的を達成するために、第 1 発明にかかる反射屈折光学系は、第 1 面の縮小像を第 2 面上に形成する反射屈折光学系であって、前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に配置されて、前記第 1 面の第 1 中間像を形成するための第 1 結像光学サブシステム、該第 1 結像光学サブシステムは屈折結像光学系を有する；前記第 1 中間像が形成される位置の近傍に配置されて、前記第 1 中間像へ向かう光束または前記第 1 中間像からの光束を偏向するための第 1 折り曲げ鏡；凹面反射鏡と少なくとも 1 つの負レンズとを有し、前記第 1 中間像からの光束に基づいて前記第 1 中間像とほぼ等しい倍率の第 2 中間像を前記第 1 中間像の形成位置の近傍に形成するための第 2 結像光学サブシステム；前記第 2 中間像の形成位置の近傍に配置されて、前記第 2 中間像へ向かう光束または前記第 2 中間像からの光束を偏向するための第 2 折り曲げ鏡；および前記第 2 結像光学サブシステムと前記第 2 面との間の光路中に配置されて、前記第 2 中間像からの光束に基づいて前記縮小像を前記第 2 面上に形成するための第 3 結像光学サブシステム、該第 3 結像光学サブシステムは屈折結像光学系を有する；を含む。

また、上述の目的を達成するために、第 2 発明にかかる反射屈折光学系は、第 1 面の縮小像を第 2 面上に形成する反射屈折光学系であって、前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に配置されて、第 1 光軸を有する第 1 結像光学サブシステム、該第 1 結像光学サブシステムは屈折結像光学系を有する；前記第 1 結像光学サブシステムと前記第 2 面との間の光路中に配置されて、凹面反射鏡と第 2 光軸とを有する第 2 結像光学サブシステム；お

び前記第2結像光学サブシステムと前記第2面との間の光路中に配置されて、第3光軸を有する第3結像光学サブシステム、該第3結像光学サブシステムは屈折結像光学系を有する；を含み、そこにおいて、前記第1光軸と前記第2光軸とは互いに交差し、かつ前記第2光軸と前記第3光軸とは互いに交差している。

また、上述の目的を達成するために、第3発明にかかる反射屈折光学系は、第1面の縮小像を第2面上に形成する反射屈折光学系であって、前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置されて、第1光軸を有する第1結像光学サブシステム、該第1結像光学サブシステムは屈折結像光学系を有する；前記第1結像光学サブシステムと前記第2面との間の光路中に配置されて、凹面反射鏡と第2光軸とを有する第2結像光学サブシステム；および前記第2結像光学サブシステムと前記第2面との間の光路中に配置されて、第3光軸を有する第3結像光学サブシステム、該第3結像光学サブシステムは屈折結像光学系を有する；を含み、そこにおいて、前記第1光軸と前記第3光軸とは共通の軸上に位置する。

また、上述の目的を達成するために、第4発明にかかる投影露光装置は、第1面と第2面との間の光路中に配置されて、前記第1面に配置される原版上のパターンを、前記第2面に配置されるワークピース上へ投影露光する投影光学系；を含み、前記投影光学系は、屈折結像光学系を有する第1結像光学サブシステム；凹面反射鏡を含む第2結像光学サブシステム；屈折結像光学系を有する第3結像光学サブシステム；前記第1結像光学サブシステムと前記第2結像光学サブシステムとの間の光路中に配置された第1折り曲げ鏡；前記第2結像光学サブシステムと前記第3結像光学サブシステムとの間の光路中に配置された第2折り曲げ鏡；を含み、そこにおいて、前記第1結像光学サブシステムは、前記第1結像光学サブシステムと前記第2結像光学サブシステムとの間の光路中に前記第1面の第1中間像を形成し、前記第2結像光学サブシステムは、前記第2結像光学サブシステムと前記第3結像光学サブシステムとの間の光路中に前記第1面の第2中間像を形成する。

また、上述の目的を達成するために、第5発明にかかる露光方法は、投影光学系を介して原版上のパターンをワークピース上へ投影露光する露光方法であって、紫外領域の照明光を前記原版上の前記パターンへ導く工程；前記パターンを介した前記照明光を第1結像光学サブシステムへ導いて前記投影原版上のパターンの第1中間像を形成する工程、前記第1結像光学サブシステムは屈折結像光学系を含む；前記第1中間像からの光を第2結像光学サブシステムへ導いて第2中間像を形成する工程、前記第2結像光学サブシステムは凹面反射鏡を含む；前記第2中間像からの光を第3結像光学サブシステムへ導いて前記ワークピース上に最終像を形成する工程、前記第3結像光学サブシステムは屈折結像光学系を含む；前記第1結像光学サブシステムと前記第2結像光学サブシステムとの間の光路中に配置された第1折り曲げ鏡により前記第1結像光学系からの光を偏向させる工程；および前記第2結像光学サブシステムと前記第3結像光学サブシステムとの間の光路中に配置された第2折り曲げ鏡により前記第2結像光学サブシステムからの光を偏向させる工程；を含む。

上述の目的を達成するために、本発明の第6発明にかかる結像光学系は、第1面の像を第2面上に形成する結像光学系であって、前記第1面と前記第2面との間に配置された少なくとも1つの反射面を含み、前記反射面は、金属反射膜、および該金属反射膜の上に設けられて前記金属反射膜からの反射光が有する偏光状態の差に起因する位相差を補正するための補正膜を含む。

上述の目的を達成するために、本発明の第7発明にかかる投影露光装置は、第1面上に配置される原版上のパターンを第2面上に配置されるワークピースへ投影露光する投影露光装置であって、前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置された少なくとも1つの反射部材を有する前記投影光学系、前記反射部材は、前記反射部材に対するP偏光成分とS偏光成分とが前記感光性基板に達する際に前記P偏光成分と前記S偏光成分との位相差が実質的に存在しないように、光を反射する；を含む。

### Brief Description of Drawings

図1は、本発明の反射屈折光学系の基本的な構成を説明するための図である。

図2は、本発明の各実施例にかかる反射屈折光学系を投影光学系として備えた投影露光装置の全体構成を概略的に示す図である。

図3は、ウエハW上に形成される矩形形状の露光領域（すなわち実効露光領域）と基準光軸との位置関係を示す図である。

図4は、第1実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）のレンズ構成を示す図である。

図5は、第1実施例における横収差を示す図である。

図6は、第2実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）のレンズ構成を示す図である。

図7は、第2実施例における横収差を示す図である。

図8は、図2に示す本実施形態の投影露光装置の全体構成を示す図である。

図9は、図8の投影露光装置の一部を構成する照明光学系に関連する部分を示す拡大図である。

図10は、図8の投影露光装置の一部を構成する投影光学系に関連する部分を示す拡大図である。

図11は、デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートを示す図である。

図12は、半導体デバイスの場合における、図11のステップ204の詳細なフローの一例を示す図である。

図13Aは、第3実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）のレンズ構成を示す図である。

図13Bは、第3実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）の要部を示す図で

ある。

図 1 4 は、第 3 実施例における横収差を示す図である。

図 1 5 は、本実施形態の第 1 の変形例の構成を示す図である。

図 1 6 は、本実施形態の第 2 の変形例の構成を示す図である。

図 1 7 は、本実施形態の第 3 の変形例の構成を示す図である。

図 1 8 は、本実施形態の第 4 の変形例の構成を示す図である。

図 1 9 は、本実施形態の第 5 の変形例の構成を示す図である。

### Detailed Description of Preferred Embodiments

図 1 は、本発明の反射屈折光学系の基本的な構成を説明するための図である。なお、図 1 では、本発明の反射屈折光学系が投影露光装置の投影光学系に適用されているものとする。

図 1 に示すように、本発明の反射屈折光学系は、第 1 面に配置された原版としてのレチクル R のパターンの第 1 中間像を形成するための屈折型の第 1 結像光学系 G 1 を備えている。

第 1 結像光学系 G 1 が形成する第 1 中間像の形成位置の近傍には、第 1 光路折り曲げ鏡 1 が配置されている。第 1 光路折り曲げ鏡 1 は、第 1 中間像へ向かう光束または第 1 中間像からの光束を第 2 結像光学系 G 2 に向かって偏向する。第 2 結像光学系 G 2 は、凹面反射鏡 CM と少なくとも 1 つの負レンズ 3 とを有し、第 1 中間像からの光束に基づいて第 1 中間像とほぼ等倍の第 2 中間像（第 1 中間像の像であってパターンの 2 次像）を第 1 中間像の形成位置の近傍に形成する。

第 2 結像光学系 G 2 が形成する第 2 中間像の形成位置の近傍には、第 2 光路折り曲げ鏡 2 が配置されている。第 2 光路折り曲げ鏡 2 は、第 2 中間像へ向かう光束または第 2 中間像からの光束を屈折型の第 3 結像光学系 G 3 に向かって偏向する。ここで、第 1 光路折り曲げ鏡 1 の反射面と第 2 光路折り曲げ鏡 2 の反射面とは、空間的に重複しないように位置決めされている。第 3 結像光学系 G 3 は、第 2 中間像からの光束に基づいて、レチクル R のパターンの縮小像（第 2 中間像の像であって反射屈折光学系の最終像）を、第 2 面に配置された感光性基板としてのウエハ W 上に形成する。

上述の構成では、複数のレンズを含む屈折光学系である第 1 結像光学系 G 1 および第 3 結像光学系 G 3 で生じる色収差および正值のベッツバル和を、第 2 結像光学系 G 2 の凹面反射鏡 CM および負レンズ 3 により補償する。また、第 2 結像光学系 G 2 がほぼ等倍の結像倍率を有する構成により、第 1 中間像の近傍に第 2 中間像を形成することが可能となる。本発明では、この 2 つの中間像の近傍において光路分離を行うことにより、露光領域（すなわち実効露光領域）の光軸からの距離すなわち軸外し量を小さく設定することができる。これは、収差補正の点で有利となるだけでなく、光学系の小型化、光学調整、機械設計、製造コストなどの点でも有利となる。

上述したように、第2結像光学系G2は、第1結像光学系G1および第3結像光学系G3で生じる色収差および正值のベッツバール和の補償を一手に負担する。このため、第2結像光学系G2を構成する凹面反射鏡CMおよび負レンズ3のパワーを共に大きく設定する必要がある。したがって、第2結像光学系G2の対称性が崩れると、倍率色収差や色コマ収差のような非対称色収差の発生が大きくなり、十分な解像力を得ることができなくなってしまう。そこで、本発明では、第2結像光学系G2の結像倍率をほぼ等倍に設定し且つその瞳位置の近傍に凹面反射鏡CMを配置することのできる構成を採用することにより、良好な対称性を確保し、上述の非対称色収差の発生を防ぐことに成功している。

以下、本発明の各条件式を参照して、本発明の構成についてさらに詳細に説明する。

本発明では、第2結像光学系G2の結像倍率 $\beta_2$ が、次の条件式(1)を満足することが好ましい。

$$0.82 < |\beta_2| < 1.20 \quad (1)$$

条件式(1)は、第2結像光学系G2の結像倍率 $\beta_2$ について適切な範囲を規定している。

この条件式(1)を満たさない場合、光路分離のための軸外量が大きくなり、光学系の大形化および複雑化を避けることができなくなるので好ましくない。加えて、倍率色収差や色コマ収差等の非対称色収差の発生を防ぐことができなくなるので好ましくない。

なお、条件式(1)の下限値を0.85とし、上限値を1.15とすることがさらに好ましい。そして、条件式(1)の下限値を0.87とすることがより好ましい。

また、本発明では、次の条件式(2)を満足することが好ましい。

$$|L1 - L2| / |L1| < 0.15 \quad (2)$$

ここで、L1は、第1中間像と第2結像光学系G2中の凹面反射鏡CMとの間の光軸に沿った距離である。また、L2は、第2中間像と第2結像光学系G2中の凹面反射鏡CMとの間の光軸に沿った距離である。本発明の場合、中間像が光軸上に形成されないため、L1およびL2は、中間像から光軸へ垂線を下ろした際の該垂線と光軸との交点から凹面反射鏡CMまでの光軸に沿った距離である。

条件式(2)は、第1結像光学系G1が形成する第1中間像と第2結像光学系G2が形成する第2中間像との位置関係を規定している。

この条件式(2)を満たさない場合、光路分離のための軸外量が大きくなり、光学系の大形化および複雑化を避けることができなくなるので好ましくない。

なお、条件式(2)の上限値を0.12とすることがさらに好ましい。

また、本発明では、第1中間像は第1光路折り曲げ鏡1と第2結像光学系G2との間の光路中に形成され、第2中間像は第2結像光学系G2と第2光路折り曲げ鏡2との間の光路中に形成されることが好ましい。この場合、第1面と第2面との距離を短くすることができるので、光学系の安定性が増し、光学調整および機械設計が容易になる。また、投影露光装置に適用する場合には、第1面に配置されるレチクルRと第2面に配置されるウエ

ハWとの距離が短くなるので、装置全体の高さを低くすることができる。

また、本発明では、次の条件式(3)を満足することが好ましい。

$$0.20 < |\beta| / |\beta_1| < 0.50 \quad (3)$$

ここで、 $\beta$ は、反射屈折光学系(投影露光装置に適用される場合には投影光学系)の結像倍率である。また、 $\beta_1$ は、第1結像光学系G1の結像倍率である。

条件式(3)は、全系の結像倍率 $\beta$ と第1結像光学系G1の結像倍率 $\beta_1$ との比について適切な範囲を規定している。

この条件式(3)の上限値を上回ると、第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2に入射する光束の角度ばらつき(角度範囲)が大きくなり、結果として反射膜の設計が困難となるので好ましくない。特に、180nmよりも短い波長の光に対しては、使用可能な反射膜材料に限られ、広い角度帯域において反射率を高い水準で一定に保つことは難しい。また、P偏光とS偏光との間の反射率の差や位相変化も入射角度により変化するため、ひいては全系の結像性能の劣化につながる。

一方、この条件式(3)の下限値を下回ると、第3結像光学系G3の負担すべき倍率の負荷が高くなり、光学系の大形化を避けることができなくなるので好ましくない。

なお、条件式(3)の下限値を0.25とし、上限値を0.46とすることがさらに好ましい。

また、本発明では、反射屈折光学系が第1面側および第2面側の両側にテレセントリックな光学系であることが好ましい。投影露光装置に適用する場合には、投影光学系がレチクル側およびウエハ側の両側にテレセントリックな光学系であることが好ましい。この構成により、レチクルRやウエハW等の位置誤差やたわみが発生した場合に、像の倍率誤差や歪みを小さく抑えることができる。なお、光学系が実質的にテレセントリックであるというためには、光束の中心を通る光線(すなわち主光線)と光軸とのなす角度が全画面内において50分以下となることが好ましい。

また、本発明では、反射屈折光学系が両側にテレセントリックであることに加えて、次の条件式(4)を満足することが好ましい。

$$|E-D|/|E| < 0.24 \quad (4)$$

ここで、Eは、第1結像光学系G1の最も像側の面とその射出瞳位置との間の光軸に沿った距離である。また、Dは、第1結像光学系G1の最も像側の面から第2結像光学系G2中の凹面反射鏡CMまでの光軸に沿った空気換算距離である。

条件式(4)は、第1結像光学系G1の射出瞳と凹面反射鏡CMとの位置関係を規定している。

この条件式(4)を満足しない場合、倍率色収差や色コマ収差等の非対称色収差の発生を良好に抑えることができなくなるので好ましくない。

なお、条件式(4)の上限値を0.17とすることがさらに好ましい。

また、本発明では、第1光路折り曲げ鏡1の反射面の仮想延長面(平面状の反射面を無

限に延長して得られる仮想面)と第2光路折り曲げ鏡2の反射面の仮想延長面との交線が、第1結像光学系G1の光軸AX1、第2結像光学系G2の光軸AX2、および第3結像光学系G3の光軸AX3と一点(基準点)で交わるように設定されていることが好ましい。この構成により、第1結像光学系G1の光軸AX1と第3結像光学系G3の光軸AX3とが共通光軸となるように設定することが可能となり、とりわけ3つの光軸AX1~AX3および2つの反射面を1つの基準点に関連して位置決めすることが可能となるので、光学系の安定性が増し、光学調整および機械設計が容易となる。また、第2結像光学系G2の光軸AX2が第1結像光学系G1の光軸AX1および第3結像光学系G3の光軸AX3と直交するように設定することにより、さらに精度の高い光学調整が容易になり、光学系のさらに高い安定性を達成することができる。

また、本発明では、第1結像光学系G1を構成するすべてのレンズおよび第3結像光学系G3を構成するすべてのレンズが単一の光軸に沿って配置されていることが好ましい。この構成により、重力によるレンズのたわみが回転対称になるように設定することが可能になり、光学調整により結像性能の劣化を小さく抑えることが可能となる。特に、投影露光装置に適用された場合、第1結像光学系G1および第3結像光学系G3を共通の光軸に沿って直立姿勢で使用することにより、レチクルRおよびウエハWを重力方向に直交する面(すなわち水平面)に沿って互いに平行に配置するとともに、第1結像光学系G1および第3結像光学系G3を構成するすべてのレンズを重力方向の単一光軸に沿って水平に配置することができる。その結果、レチクルR、ウエハW、および投影光学系を構成する大部分のレンズが水平に保持され、自重による非対称な変形を受けることなく、光学調整や機械設計や高解像度の確保などにおいて非常に有利である。

また、本発明では、反射屈折光学系(投影露光装置に適用される場合には投影光学系)を構成するすべてのレンズのうちの85%以上の数のレンズが単一の光軸に沿って配置されていることが好ましい。この構成により、たとえば第1結像光学系G1および第3結像光学系G3を共通の光軸に沿って直立姿勢で使用すれば、光学系を構成する多数のレンズのうちのほとんどのレンズを水平に保持して自重による非対称な変形が起こらなくなるので、光学調整や機械設計や高解像度の確保などにおいてさらに有利である。

また、上述したように、第2結像光学系G2中の負レンズ3は、第1結像光学系G1および第3結像光学系G3で生じる色収差の補償を一手に負担するために、大きなパワー(屈折力)を有することが必要となる。そこで、本発明では、第2結像光学系G2が少なくとも2枚の負レンズ3を有することが好ましい。この構成により、少なくとも2枚の負レンズ3で所要のパワーを分割して負担することが可能になり、ひいては安定した光学系を構成することが可能となる。

以下、本発明の実施例を、添付図面に基いて説明する。

図2は、本発明の各実施例にかかる反射屈折光学系を投影光学系として備えた投影露光装置の全体構成を概略的に示す図である。なお、図2において、投影光学系PLを構成す



る反射屈折光学系の基準光軸  $A \times$  に平行に  $Z$  軸を、光軸  $A \times$  に垂直な面内において図 2 の紙面に平行に  $Y$  軸を、紙面に垂直に  $X$  軸を設定している。また、図 2 は、投影露光装置の全体構成を概略的に示すものであり、その詳細な構成については図 8 ～ 図 10 を参照して後述する。

図示の投影露光装置は、紫外領域の照明光を供給するための光源 100 として、たとえば  $F_2$  レーザ（発振中心波長 157.624 nm）を備えている。光源 100 から射出された光は、照明光学系 1L を介して、所定のパターンが形成されたレチクル R を均一に照明する。なお、光源 100 と照明光学系 1L との間の光路はケーシング（不図示）で密封されており、光源 100 から照明光学系 1L 中の最もレチクル側の光学部材までの空間は、露光光の吸収率が低い気体であるヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

レチクル R は、レチクルホルダ RH を介して、レチクルステージ RS 上において  $XY$  平面に平行に保持されている。レチクル R には転写すべきパターンが形成されており、パターン領域全体のうち  $X$  方向に沿って長辺を有し且つ  $Y$  方向に沿って短辺を有する矩形形状（スリット状）のパターン領域が照明される。レチクルステージ RS は、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面（すなわち  $XY$  平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はレチクル移動鏡 RM を用いた干渉計 RIF によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

レチクル R に形成されたパターンからの光は、反射屈折型の投影光学系 PL を介して、感光性基板であるウエハ W 上にレチクルパターン像を形成する。ウエハ W は、ウエハテーブル（ウエハホルダ）WT を介して、ウエハステージ WS 上において  $XY$  平面に平行に保持されている。そして、レチクル R 上での矩形形状の照明領域に光学的に対応するように、ウエハ W 上では  $X$  方向に沿って長辺を有し且つ  $Y$  方向に沿って短辺を有する矩形形状の露光領域にパターン像が形成される。ウエハステージ WS は、図示を省略した駆動系の作用によりウエハ面（すなわち  $XY$  平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウエハ移動鏡 WM を用いた干渉計 WIF によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

図 3 は、ウエハ W 上に形成される矩形形状の露光領域（すなわち実効露光領域）と基準光軸との位置関係を示す図である。

図 3 に示すように、各実施例では、基準光軸  $A \times$  を中心とした半径 B を有する円形状の領域（イメージサークル）IF 内において、基準光軸  $A \times$  から  $+Y$  方向に軸外し量 A だけ離れた位置に所望の大きさ（すなわち実効露光領域 ER）が設定されている。ここで、実効露光領域 ER の  $X$  方向の長さは  $LX$  であり、その  $Y$  方向の長さは  $LY$  である。

換言すると、各実施例では、基準光軸  $A \times$  から  $+Y$  方向に軸外し量 A だけ離れた位置に所望の大きさ（すなわち実効露光領域 ER）が設定され、基準光軸  $A \times$  を中心として実効露光領域 ER を包括するように円形状のイメージサークル IF の半径 B が規定されて

いる。したがって、図示を省略したが、これに対応して、レチクルR上では、基準光軸AXからY方向に軸外し量Aに対応する距離だけ離れた位置に実効露光領域ERに対応した大きさおよび形状を有する矩形状の照明領域（すなわち実効照明領域）が形成されていることになる。

また、図示の投影露光装置では、投影光学系PLを構成する光学部材のうち最もレチクル側に配置された光学部材（各実施例ではレンズL11）と最もウエハ側に配置された光学部材（各実施例ではレンズL31）との間で投影光学系PLの内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系PLの内部の気体はヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

さらに、照明光学系ILと投影光学系PLとの間の狭い光路には、レチクルRおよびレチクルステージRSなどが配置されているが、レチクルRおよびレチクルステージRSなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

また、投影光学系PLとウエハWとの間の狭い光路には、ウエハWおよびウエハステージWSなどが配置されているが、ウエハWおよびウエハステージWSなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

このように、光源100からウエハWまでの光路の全体に亘って、露光光がほとんど吸収されることのない雰囲気が形成されている。

上述したように、投影光学系PLによって規定されるレチクルR上の照明領域およびウエハW上の露光領域（すなわち実効露光領域ER）は、Y方向に沿って短辺を有する矩形状である。したがって、駆動系および干渉計（RIF、WIF）などを用いてレチクルRおよびウエハWの位置制御を行いながら、矩形状の露光領域および照明領域の短辺方向すなわちY方向に沿ってレチクルステージRSとウエハステージWSとを、ひいてはレチクルRとウエハWとを同じ方向へ（すなわち同じ向きへ）同期的に移動（走査）させることにより、ウエハW上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウエハWの走査量（移動量）に応じた長さを有する領域に対してレチクルパターンが走査露光される。

各実施例において、本発明の反射屈折光学系からなる投影光学系PLは、第1面に配置されたレチクルRのパターンの第1中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系G1と、凹面反射鏡CMと2つの負レンズ3とから構成されて第1中間像とほぼ等倍の第2中間像（第1中間像のほぼ等倍像であってレチクルパターンの2次像）を形成するための第2結像光学系G2と、第2中間像からの光に基づいて第2面に配置されたウエハW上にレチクルパターンの最終像（レチクルパターンの縮小像）を形成するための屈折型の第3結像光学系G3とを備えている。

なお、各実施例において、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路中において第1中間像の形成位置の近傍には、第1結像光学系G1からの光を第2結像光学系

G2に向かって偏向するための第1光路折り曲げ鏡1が配置されている。また、第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間の光路中において第2中間像の形成位置の近傍には、第2結像光学系G2からの光を第3結像光学系G3に向かって偏向するための第2光路折り曲げ鏡2が配置されている。各実施例において、第1中間像および第2中間像は、第1光路折り曲げ鏡1と第2結像光学系G2との間の光路中および第2結像光学系G2と第2光路折り曲げ鏡2との間の光路中にそれぞれ形成される。

また、各実施例において、第1結像光学系G1は直線状に延びた光軸AX1を有し、第3結像光学系G3は直線状に延びた光軸AX3を有し、光軸AX1と光軸AX3とは共通の単一光軸である基準光軸AXと一致するように設定されている。なお、基準光軸AXは、重力方向（すなわち鉛直方向）に沿って位置決めされている。その結果、レチクルRおよびウエハWは、重力方向と直交する面すなわち水平面に沿って互いに平行に配置されている。加えて、第1結像光学系G1を構成するすべてのレンズおよび第3結像光学系G3を構成するすべてのレンズも、基準光軸AX上において水平面に沿って配置されている。

一方、第2結像光学系G2も直線状に延びた光軸AX2を有し、この光軸AX2は基準光軸AXと直交するように設定されている。さらに、第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2はともに平面状の反射面を有し、2つの反射面を有する1つの光学部材（1つの光路折り曲げ鏡FM）として一体的に構成されている。この2つの反射面の交線（厳密にはその仮想延長面の交線）が第1結像光学系G1のAX1、第2結像光学系G2のAX2、および第3結像光学系G3のAX3と一点で交わるように設定されている。なお、第1実施例および第2実施例では第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2がともに表面反射鏡として構成され、第3実施例では第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2がともに裏面反射鏡として構成されている。ところで、光路折り曲げ鏡FMの反射面の有効領域と光軸AXとの間隔を小さく設定するほど、前述した実効露光領域の軸外し量Aは小さくなる。

各実施例において、投影光学系PLを構成するすべての屈折光学部材（レンズ成分）には螢石（ $\text{CaF}_2$ 結晶）を使用している。また、露光光である $F_2$ レーザ光の発振中心波長は157.624nmであり、157.624nm付近において $\text{CaF}_2$ の屈折率は、+1pmの波長変化あたり $-2.6 \times 10^{-6}$ の割合で変化し、-1pmの波長変化あたり+2.6 $\times 10^{-6}$ の割合で変化する。換言すると、157.624nm付近において、 $\text{CaF}_2$ の屈折率の分散（ $dn/d\lambda$ ）は、 $2.6 \times 10^{-6}/\text{pm}$ である。

したがって、第1実施例および第2実施例において、中心波長157.624nmに対する $\text{CaF}_2$ の屈折率は1.559238であり、157.624nm+1pm=157.625nmに対する $\text{CaF}_2$ の屈折率は1.5592354であり、157.624nm-1pm=157.623nmに対する $\text{CaF}_2$ の屈折率は1.5592406である。一方、第3実施例において、中心波長157.624nmに対する $\text{CaF}_2$ の屈折率は1.5593067であり、157.624nm+1pm=157.625nmに対する $\text{CaF}_2$ の屈

折率は1.5593041であり、 $157.624\text{ nm} - 1\text{ pm} = 157.623\text{ nm}$ に対する $\text{CaF}_2$ の屈折率は1.5593093である。

また、各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さを $y$ とし、非球面の頂点における接平面から高さ $y$ における非球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）を $z$ とし、頂点曲率半径を $r$ とし、円錐係数を $\kappa$ とし、 $n$ 次の非球面係数を $C_n$ としたとき、以下の数式（a）で表される。

$$z = (y^2/r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2 / r^2\}^{1/2}] \\ + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10} \\ + C_{12} \cdot y^{12} + C_{14} \cdot y^{14} \quad (\text{a})$$

各実施例において、非球面形状に形成されたレンズ面には面番号の右側に\*印を付している。

#### 〔第1実施例〕

図4は、第1実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）のレンズ構成を示す図である。なお、第1実施例では、波長幅が $157.624\text{ nm} \pm 1\text{ pm}$ の露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系に本発明を適用している。

図4の反射屈折光学系において、第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL11と、両凸レンズL12と、両凸レンズL13と、両凸レンズL14と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL15と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL16と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL17と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL18と、両凸レンズL19と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL110とから構成されている。

また、第2結像光学系G2は、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）から順に、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL21と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL22と、凹面反射鏡CMとから構成されている。

さらに、第3結像光学系G3は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レチクル側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL31と、両凸レンズL32と、両凸レンズL33と、両凹レンズL34と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL35と、開口絞りASと、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL36と、両凸レンズL37と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL38と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL39と、両凹レンズL310と、ウエハ側に平面を向けた両凸レンズL311とから構成されている。

次の表（1）に、第1実施例の反射屈折光学系の諸元の値を掲げる。表（1）において、 $\lambda$ は露光光の中心波長を、 $\beta$ は投影倍率（全系の結像倍率）を、NAは像側（ウエハ側）開口数を、BはウエハW上でのイメージサークルIFの半径を、Aは実効露光領域ERの

軸外し量を、 $LX$ は実効露光領域 $ER$ の $X$ 方向に沿った寸法（長辺の寸法）を、 $LY$ は実効露光領域 $ER$ の $Y$ 方向に沿った寸法（短辺の寸法）をそれぞれ表している。

また、面番号は物体面（第1面）であるレチクル面から像面（第2面）であるウエハ面への光線の進行する方向に沿ったレチクル側からの面の順序を、 $r$ は各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：mm）を、 $d$ は各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、 $n$ は中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。

なお、面間隔 $d$ は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔 $d$ の符号は、第1光路折り曲げ鏡1の反射面から凹面反射鏡 $CM$ までの光路中および第2光路折り曲げ鏡2の反射面から像面までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、第1結像光学系 $G1$ では、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。一方、第3結像光学系 $G3$ では、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。さらに、第2結像光学系 $G2$ では、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。

【表1】

（主要諸元）

$$\lambda = 157.624 \text{ nm}$$

$$\beta = -0.25$$

$$NA = 0.75$$

$$B = 14.6 \text{ mm}$$

$$A = 3 \text{ mm}$$

$$LX = 22 \text{ mm}$$

$$LY = 6.6 \text{ mm}$$

（光学部材諸元）

面番号	$r$	$d$	$n$
	（レチクル面）	129.131192	
1	8233.14221	20.000000	1.559238 （レンズL11）
2*	229.43210	8.970677	
3	286.74048	31.000034	1.559238 （レンズL12）
4	-803.12188	1.000000	
5	666.75874	33.633015	1.559238 （レンズL13）
6	-296.74142	1.000000	
7	180.00000	38.351830	1.559238 （レンズL14）
8	-2028.08028	13.262240	
9	201.14945	12.933978	1.559238 （レンズL15）

10	128.43682	221.621142	
11*	-127.65364	20.866949	1.559238 (レンズL16)
12	-120.00000	1.000000	
13	-302.13109	23.424817	1.559238 (レンズL17)
14	-150.00000	1.000000	
15	-1158.54680	23.049991	1.559238 (レンズL18)
16	-228.52501	1.000000	
17	433.60390	22.934308	1.559238 (レンズL19)
18	-656.20038	1.000000	
19	188.30389	21.335899	1.559238 (レンズL110)
20	563.10068	86.000000	
21	$\infty$	-273.261089	(第1光路折り曲げ鏡1)
22	114.73897	-12.000000	1.559238 (レンズL21)
23	453.07648	-16.355803	
24*	172.15013	-13.328549	1.559238 (レンズL22)
25	395.88538	-28.227312	
26	162.85844	28.227312	(凹面反射鏡CM)
27	395.88538	13.328549	1.559238 (レンズL22)
28*	172.15013	16.355803	
29	453.07648	12.000000	1.559238 (レンズL21)
30	114.73897	273.261089	
31	$\infty$	-94.835481	(第2光路折り曲げ鏡2)
32*	-774.94652	-26.931959	1.559238 (レンズL31)
33	275.96516	-1.000000	
34	-376.08486	-31.371246	1.559238 (レンズL32)
35	388.08658	-1.000000	
36	-219.25460	-29.195314	1.559238 (レンズL33)
37	4359.72825	-32.809802	
38	505.14516	-12.000000	1.559238 (レンズL34)
39	-128.75641	-209.396172	
40	-180.58054	-24.481519	1.559238 (レンズL35)
41	-331.81286	-14.336339	
42	$\infty$	-30.366910	(開口絞りAS)
43	-1502.56896	-24.392042	1.559238 (レンズL36)
44*	933.76923	-1.000000	
45	-357.34412	-25.686455	1.559238 (レンズL37)

46	2099.98513	-1.000000	
47	-163.08575	-32.557214	1.559238 (レンズL 3 8)
48	-631.02443	-1.000000	
49	-124.04732	-35.304921	1.559238 (レンズL 3 9)
50	-639.72650	-18.536315	
51	467.75212	-40.196625	1.559238 (レンズL 3 1 0)
52	-616.22436	-1.000000	
53	-95.47627	-38.068687	1.559238 (レンズL 3 1 1)
54	$\infty$	-11.016920	

(ウエハ面)

(非球面データ)

2 面

$$\begin{aligned}
 r &= 229.43210 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= 0.174882 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.593217 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= -0.194756 \times 10^{-16} & C_{10} &= 0.677479 \times 10^{-21} \\
 C_{12} &= -0.212612 \times 10^{-25} & C_{14} &= -0.320584 \times 10^{-30}
 \end{aligned}$$

1 1 面

$$\begin{aligned}
 r &= -127.65364 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= -0.130822 \times 10^{-7} & C_6 &= 0.512133 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= 0.875810 \times 10^{-16} & C_{10} &= 0.138750 \times 10^{-19} \\
 C_{12} &= -0.203194 \times 10^{-25} & C_{14} &= 0.241236 \times 10^{-27}
 \end{aligned}$$

2 4 面および 2 8 面 (同一面)

$$\begin{aligned}
 r &= 172.15013 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= -0.293460 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.868472 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= -0.848590 \times 10^{-17} & C_{10} &= -0.159330 \times 10^{-22} \\
 C_{12} &= 0.868714 \times 10^{-26} & C_{14} &= -0.116970 \times 10^{-29}
 \end{aligned}$$

3 2 面

$$\begin{aligned}
 r &= -774.94652 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= 0.253400 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.505553 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= 0.151509 \times 10^{-16} & C_{10} &= -0.433597 \times 10^{-21} \\
 C_{12} &= 0.841427 \times 10^{-26} & C_{14} &= 0.165932 \times 10^{-30}
 \end{aligned}$$

4 4 面

$$\begin{aligned}
 r &= 933.76923 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= -0.140105 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.779968 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= -0.148693 \times 10^{-16} & C_{10} &= 0.100788 \times 10^{-21} \\
 C_{12} &= -0.251962 \times 10^{-25} & C_{14} &= 0.104216 \times 10^{-29}
 \end{aligned}$$

(条件式対応値)

$$\beta 1 = -0.626$$

$$\beta 2 = -0.919$$

$$\beta 3 = -0.435$$

$$L1 = 335.3 \text{ mm}$$

$$L2 = 310.0 \text{ mm}$$

$$E = 484.8 \text{ mm}$$

$$D = 443.3 \text{ mm}$$

$$(1) |\beta 2| = 0.919$$

$$(2) |L1 - L2| / |L1| = 0.076$$

$$(3) |\beta| / |\beta 1| = 0.400$$

$$(4) |E - D| / |E| = 0.086$$

図5は、第1実施例における横収差を示す図である。

収差図において、Yは像高を、実線は中心波長157.624nmを、破線は157.624nm+1pm=157.625nmを、一点鎖線は157.624nm-1pm=157.623nmをそれぞれ示している。

収差図から明らかなように、第1実施例では、波長幅が157.624nm±1pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。

#### [第2実施例]

図6は、第2実施例にかかる反射屈折光学系(投影光学系PL)のレンズ構成を示す図である。第2実施例においても第1実施例と同様に、波長幅が157.624nm±1pmの露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系に本発明を適用している。

図6の反射屈折光学系において、第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL11と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL12と、両凸レンズL13と、両凸レンズL14と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL15と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL16と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL17と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL18と、両凸レンズL19と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL110とから構成されている。

また、第2結像光学系G2は、光の進行往路に沿ってレチクル側(すなわち入射側)から順に、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL21と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL22と、凹面反射鏡CMとから構成されている。

さらに、第3結像光学系G3は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レチクル側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL31と、両凸レンズL32と、レチクル側に



凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 3 と、両凹レンズL 3 4 と、両凸レンズL 3 5 と、開口絞りA S と、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けた負メニスカスレンズL 3 6 と、両凸レンズL 3 7 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 8 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 9 と、両凹レンズL 3 1 0 と、ウエハ側に平面を向けた平凸レンズL 3 1 1 とから構成されている。

次の表(2)に、第2実施例の反射屈折光学系の諸元の値を掲げる。表(2)において、 $\lambda$ は露光光の中心波長を、 $\beta$ は投影倍率(全系の結像倍率)を、NAは像側(ウエハ側)開口数を、BはウエハW上でのイメージサークルIFの半径を、Aは実効露光領域ERの軸外し量を、LXは実効露光領域ERのX方向に沿った寸法(長辺の寸法)を、LYは実効露光領域ERのY方向に沿った寸法(短辺の寸法)をそれぞれ表している。

また、面番号は物体面(第1面)であるレチクル面から像面(第2面)であるウエハ面への光線の進行する方向に沿ったレチクル側からの面の順序を、rは各面の曲率半径(非球面の場合には頂点曲率半径:mm)を、dは各面の軸上間隔すなわち面間隔(mm)を、nは中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。

なお、面間隔dは、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔dの符号は、第1光路折り曲げ鏡1の反射面から凹面反射鏡CMまでの光路中および第2光路折り曲げ鏡2の反射面から像面までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、第1結像光学系G1では、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。一方、第3結像光学系G3では、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。さらに、第2結像光学系G2では、光の進行往路に沿ってレチクル側(すなわち入射側)に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。

【表2】

(主要諸元)

$$\lambda = 157.624 \text{ nm}$$

$$\beta = -0.25$$

$$\text{NA} = 0.75$$

$$B = 14.6 \text{ mm}$$

$$A = 3 \text{ mm}$$

$$LX = 22 \text{ mm}$$

$$LY = 6.6 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n
	(レチクル面)	74.237501	
1	392.09887	18.011517	1.559238 (レンズL 1 1)

2*	1161.26854	22.550885	
3	-197.82341	12.000000	1.559238 (レンズL 1 2)
4	-320.24045	1.072412	
5	4535.10509	27.582776	1.559238 (レンズL 1 3)
6	-230.22207	1.003799	
7	180.02979	31.376675	1.559238 (レンズL 1 4)
8	-16797.46544	1.001727	
9	120.09101	49.640624	1.559238 (レンズL 1 5)
10	111.81156	146.176310	
11*	-147.64267	50.000000	1.559238 (レンズL 1 6)
12	-120.00000	1.034195	
13	-243.75596	21.927192	1.559238 (レンズL 1 7)
14	-150.02545	1.001112	
15	-355.46587	23.499758	1.559238 (レンズL 1 8)
16	-170.06869	1.005485	
17	380.97487	22.758028	1.559238 (レンズL 1 9)
18	-1174.10533	1.018161	
19	162.68954	24.816537	1.559238 (レンズL 1 1 0)
20*	644.69642	86.000000	
21	$\infty$	-275.440338	(第1 光路折り曲げ鏡1)
22	116.98457	-20.000000	1.559238 (レンズL 2 1)
23	556.37904	-19.644110	
24*	165.29528	-22.001762	1.559238 (レンズL 2 2)
25	383.86012	-26.835741	
26	170.53370	26.835741	(凹面反射鏡CM)
27	383.86012	22.001762	1.559238 (レンズL 2 2)
28*	165.29528	19.644110	
29	556.37904	20.000000	1.559238 (レンズL 2 1)
30	116.98457	275.440338	
31	$\infty$	-106.008415	(第2 光路折り曲げ鏡2)
32*	-8761.14467	-25.535977	1.559238 (レンズL 3 1)
33	279.72974	-1.078193	
34	-751.81935	-30.303960	1.559238 (レンズL 3 2)
35	352.73770	-1.006012	
36	-178.20333	-35.675204	1.559238 (レンズL 3 3)
37	-1076.81270	-51.479106	

38	1804.27479	-28.746535	1.559238 (レンズL 3 4)
39	-120.27525	-169.573423	
40	-250.01576	-35.535941	1.559238 (レンズL 3 5)
41	521.40215	-35.714360	
42	$\infty$	-24.295048	(開口絞りAS)
43	152.18493	-24.773335	1.559238 (レンズL 3 6)
44*	252.15324	-4.265268	
45	-995.58003	-37.825368	1.559238 (レンズL 3 7)
46	262.29146	-1.000000	
47	-210.53420	-30.482411	1.559238 (レンズL 3 8)
48	-8044.39654	-1.002741	
49	-124.46496	-36.754604	1.559238 (レンズL 3 9)
50	-627.72968	-9.489076	
51	534.41903	-27.941522	1.559238 (レンズL 3 1 0)
52	-9748.42213	-1.007391	
53	-131.28658	-50.000000	1.559238 (レンズL 3 1 1)
54	$\infty$	-12.503787	

(ウエハ面)

(非球面データ)

## 2 面

$$\begin{aligned}
 r &= 1161.26854 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= 0.141234 \times 10^{-7} & C_6 &= 0.566669 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= 0.141094 \times 10^{-18} & C_{10} &= -0.504032 \times 10^{-20} \\
 C_{12} &= 0.747533 \times 10^{-24} & C_{14} &= -0.400565 \times 10^{-28}
 \end{aligned}$$

## 1 1 面

$$\begin{aligned}
 r &= -147.64267 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= 0.117741 \times 10^{-8} & C_6 &= -0.764549 \times 10^{-11} \\
 C_8 &= -0.441188 \times 10^{-15} & C_{10} &= 0.122309 \times 10^{-18} \\
 C_{12} &= -0.114006 \times 10^{-22} & C_{14} &= 0.478194 \times 10^{-27}
 \end{aligned}$$

## 2 0 面

$$\begin{aligned}
 r &= 644.69642 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= 0.378434 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.751663 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= 0.247735 \times 10^{-16} & C_{10} &= -0.222239 \times 10^{-20} \\
 C_{12} &= 0.256558 \times 10^{-24} & C_{14} &= -0.235204 \times 10^{-28}
 \end{aligned}$$

## 2 4 面および2 8 面 (同一面)

$$r = 165.29528 \quad \kappa = 0.000000$$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= -0.236840 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.766085 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= -0.122244 \times 10^{-16} & C_{10} &= -0.209608 \times 10^{-21} \\
 C_{12} &= 0.109632 \times 10^{-25} & C_{14} &= -0.837618 \times 10^{-30}
 \end{aligned}$$

3 2 面

$$\begin{aligned}
 r &= -8761.14467 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= 0.138366 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.162646 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= 0.264075 \times 10^{-17} & C_{10} &= 0.265565 \times 10^{-22} \\
 C_{12} &= -0.494187 \times 10^{-26} & C_{14} &= -0.786507 \times 10^{-31}
 \end{aligned}$$

4 4 面

$$\begin{aligned}
 r &= 252.15324 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= 0.697432 \times 10^{-8} & C_6 &= -0.714444 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= 0.747474 \times 10^{-17} & C_{10} &= -0.699569 \times 10^{-21} \\
 C_{12} &= 0.228691 \times 10^{-25} & C_{14} &= -0.160543 \times 10^{-29}
 \end{aligned}$$

(条件式対応値)

$$\beta 1 = -0.650$$

$$\beta 2 = -0.885$$

$$\beta 3 = -0.434$$

$$L 1 = 347.8 \text{ mm}$$

$$L 2 = 311.9 \text{ mm}$$

$$E = 453.1 \text{ mm}$$

$$D = 473.4 \text{ mm}$$

$$(1) \quad |\beta 2| = 0.885$$

$$(2) \quad |L 1 - L 2| / |L 1| = 0.103$$

$$(3) \quad |\beta| / |\beta 1| = 0.385$$

$$(4) \quad |E - D| / |E| = 0.045$$

図7は、第2実施例における横収差を示す図である。

収差図において、Yは像高を、実線は中心波長157.624nmを、破線は157.624nm+1pm=157.625nmを、一点鎖線は157.624nm-1pm=157.623nmをそれぞれ示している。

収差図から明らかなように、第2実施例においても第1実施例と同様に、波長幅が157.624nm±1pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。

### [第3実施例]

ところで、第1実施例および第2実施例では、第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2をともに表面反射鏡として構成している。また、第1実施例および第2実施例

において第1光路折り曲げ鏡1の反射面および第2光路折り曲げ鏡2の反射面へ入射する光束の角度幅は、反射屈折光学系の像側開口数に比例して大きくなる。この場合、誘電体多層膜で反射面を形成すると、反射率が入射角度によって変化し、反射波の位相が入射角度によってずれ、良好な角度特性を確保することが困難である。したがって、広い範囲の入射角度に対して反射率がほぼ一定になるような良好な角度特性を得るために、金属膜で反射面を形成することが好ましい。しかしながら、酸素が僅かでも含まれる雰囲気中で金属が $F_2$ レーザの照射を受けると、反射率の低下が起こる。

そこで、第3実施例では、第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2をともに裏面反射鏡として構成している。具体的には、図13Bに示すように、第1光路折り曲げ鏡1は、第1結像光学系G1の光軸AX1に垂直な入射面1aと、光軸AX1に対して45度の角度で斜設された反射面1bと、第2結像光学系G2の光軸AX2に垂直な射出面1cとを有する直角プリズムとして形成されている。また、第2光路折り曲げ鏡2は、第2結像光学系G2の光軸AX2に垂直な入射面2aと、光軸AX2に対して45度の角度で斜設された反射面2bと、第3結像光学系G3の光軸AX3に平行な射出面2cとを有する直角プリズムとして形成されている。

なお、第1光路折り曲げ鏡1と第2光路折り曲げ鏡2とは、1つの光路折り曲げ鏡FMとして一体的に構成されている。そして、第1結像光学系G1の光軸AX1と第3結像光学系G3の光軸AX3とが、直線状に延びて単一の共通光軸すなわち基準光軸AXを構成するように設定されている。また、第1光路折り曲げ鏡1の裏面反射面1bと第2光路折り曲げ鏡2の裏面反射面2bとの交線が、第1結像光学系G1の光軸AX1、第2結像光学系G2の光軸AX2、および第3結像光学系G3の軸AX3と一点（基準点）で交わるように設定されている。

上述したように、第3実施例では、第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2が、ともに裏面反射鏡として構成されている。したがって、第1光路折り曲げ鏡1の裏面反射面1bおよび第2光路折り曲げ鏡2の裏面反射面2bが、酸素を含む雰囲気中で $F_2$ レーザの照射を受けることがない。その結果、広い範囲の入射角度に対して反射率がほぼ一定になるような良好な角度特性を得るために反射面を金属膜で形成しても、 $F_2$ レーザの照射による反射率の低下を回避することができる。

なお、第1中間像や第2中間像の形成位置の近傍に第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2の反射面（1b、2b）や透過面（1a、1c、2a、2c）があると、これらの面の傷、コートの欠陥、ゴミなどがウエハ面に転写される。また、レチクルRからウエハWまでの長さをなるべく小さく設定するほうが、装置の小型化を図ることができ、輸送時にも有利になる。そこで、第3実施例では、第1光路折り曲げ鏡1の射出面1cと凹面反射鏡CMとの間に第1中間像を形成し、凹面反射鏡CMと第2光路折り曲げ鏡2の入射面2aとの間に第2中間像を形成している。以下、第3実施例を具体的に説明する。

図13Aは、第3実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）のレンズ構成を示

す図である。第3実施例においても第1実施例および第2実施例と同様に、波長幅が $157.624\text{nm} \pm 1\text{pm}$ の露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系に本発明を適用している。

図13Aの反射屈折光学系において、第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL11と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL12と、両凸レンズL13と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL14と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL15と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL16と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL17と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL18と、両凸レンズL19と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL110とから構成されている。

また、第2結像光学系G2は、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）から順に、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL21と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL22と、凹面反射鏡CMとから構成されている。

さらに、第3結像光学系G3は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レチクル側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL31と、両凸レンズL32と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL33と、両凹レンズL34と、両凸レンズL35と、開口絞りASと、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けた負メニスカスレンズL36と、両凸レンズL37と、両凸レンズL38と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL39と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL310と、ウエハ側に平面を向けた平凸レンズL311とから構成されている。

次の表(3)に、第3実施例の反射屈折光学系の諸元の値を掲げる。表(3)において、 $\lambda$ は露光光の中心波長を、 $\beta$ は投影倍率（全系の結像倍率）を、NAは像側（ウエハ側）開口数を、BはウエハW上でのイメージサークルIFの半径を、Aは実効露光領域ERの軸外し量を、LXは実効露光領域ERのX方向に沿った寸法（長辺の寸法）を、LYは実効露光領域ERのY方向に沿った寸法（短辺の寸法）をそれぞれ表している。

また、面番号は物体面（第1面）であるレチクル面から像面（第2面）であるウエハ面への光線の進行する方向に沿ったレチクル側からの面の順序を、 $r$ は各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：mm）を、 $d$ は各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、 $n$ は中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。

なお、面間隔 $d$ は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔 $d$ の符号は、第1光路折り曲げ鏡1の反射面から凹面反射鏡CMまでの光路中および第2光路折り曲げ鏡2の反射面から像面までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、第1結像光学系G1では、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。一方、第3結像光学系G3では、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。さらに、第2結像光学系

G 2 では、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。

【表 3】

(主要諸元)

 $\lambda = 157.624 \text{ nm}$  $\beta = -0.25$  $NA = 0.75$  $B = 14.6 \text{ mm}$  $A = 3 \text{ mm}$  $LX = 22 \text{ mm}$  $LY = 6.6 \text{ mm}$ 

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n
	(レチクル面)	78.905334	
1	342.16576	16.022696	1.559307 (レンズ L 1 1)
2*	991.85390	17.753350	
3	-219.16547	12.000000	1.559307 (レンズ L 1 2)
4	-320.00000	1.000000	
5	2955.64579	26.141043	1.559307 (レンズ L 1 3)
6	-246.44297	1.000000	
7	194.21831	26.260817	1.559307 (レンズ L 1 4)
8	1329.96976	1.000000	
9	107.60955	40.108611	1.559307 (レンズ L 1 5)
10	113.33032	159.676621	
11*	-148.84038	49.913127	1.559307 (レンズ L 1 6)
12	-120.00000	1.000000	
13	-222.95345	20.859126	1.559307 (レンズ L 1 7)
14	-150.00000	1.000000	
15	-401.55577	23.223530	1.559307 (レンズ L 1 8)
16	-183.82866	1.000000	
17	521.59548	25.488040	1.559307 (レンズ L 1 9)
18	-467.35041	1.000000	
19	163.47702	24.187152	1.559307 (レンズ L 1 10)
20*	493.47675	59.076923	
21	$\infty$	42.000000	1.559307 (第 1 光路折り曲げ鏡)

			1 の入射面)
22	$\infty$	-5.000000	1.559307 (第1 光路折り曲げ鏡
			1 の反射面)
23	$\infty$	-288.258092	(第1 光路折り曲げ鏡1 の射出面)
24	117.68987	-20.000000	1.559307 (レンズL 2 1)
25	494.06295	-20.317103	
26*	162.15533	-23.222125	1.559307 (レンズL 2 2)
27	424.56556	-30.146320	
28	174.51441	30.146320	(凹面反射鏡CM)
29	424.56556	23.222125	1.559307 (レンズL 2 2)
30*	162.15533	20.317103	
31	494.06295	20.000000	1.559307 (レンズL 2 1)
32	117.68987	288.258092	
33	$\infty$	5.000000	1.559307 (第2 光路折り曲げ鏡
			2 の入射面)
34	$\infty$	-42.000000	1.559307 (第2 光路折り曲げ鏡
			2 の反射面)
35	$\infty$	-75.000000	(第2 光路折り曲げ鏡2 の射出面)
36*	-4472.59851	-25.928698	1.559307 (レンズL 3 1)
37	261.48119	-1.000000	
38	-702.65223	-25.574812	1.559307 (レンズL 3 2)
39	484.70684	-1.000000	
40	-171.00841	-36.095030	1.559307 (レンズL 3 3)
41	-824.20256	-52.106994	
42	11305.93183	-29.474446	1.559307 (レンズL 3 4)
43	-116.92116	-179.952947	
44	-250.00000	-35.678589	1.559307 (レンズL 3 5)
45	613.05439	-28.469304	
46	$\infty$	-24.889346	(開口絞りAS)
47	165.48519	-20.183765	1.559307 (レンズL 3 6)
48*	279.53959	-1.000000	
49	-1112.01574	-39.557019	1.559307 (レンズL 3 7)
50	293.63544	-1.000000	
51	-227.08614	-39.175338	1.559307 (レンズL 3 8)
52	3890.58196	-8.150754	
53	-120.00000	-39.612810	1.559307 (レンズL 3 9)



54	-519.19928	-10.442215	
55	457.48024	-21.591566	1.559307 (レンズL310)
56	2169.78959	-1.000000	
57	-132.52125	-50.000000	1.559307 (レンズL311)
58	$\infty$	-12.499991	

(ウエハ面)

(非球面データ)

2面

$$\begin{aligned}
 r &= 991.85390 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= 0.117208 \times 10^{-7} & C_6 &= 0.310236 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= 0.401356 \times 10^{-17} & C_{10} &= -0.265435 \times 10^{-20} \\
 C_{12} &= 0.412618 \times 10^{-24} & C_{14} &= -0.238346 \times 10^{-28}
 \end{aligned}$$

11面

$$\begin{aligned}
 r &= -148.84038 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= 0.637735 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.462907 \times 10^{-11} \\
 C_8 &= -0.137097 \times 10^{-15} & C_{10} &= 0.475629 \times 10^{-19} \\
 C_{12} &= -0.370236 \times 10^{-23} & C_{14} &= 0.833198 \times 10^{-28}
 \end{aligned}$$

20面

$$\begin{aligned}
 r &= 493.47675 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= 0.280809 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.360031 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= 0.929800 \times 10^{-17} & C_{10} &= -0.100162 \times 10^{-20} \\
 C_{12} &= 0.116050 \times 10^{-24} & C_{14} &= -0.979417 \times 10^{-29}
 \end{aligned}$$

26面および30面(同一面)

$$\begin{aligned}
 r &= 162.15533 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= -0.235140 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.709685 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= -0.957183 \times 10^{-17} & C_{10} &= -0.947024 \times 10^{-22} \\
 C_{12} &= 0.274134 \times 10^{-26} & C_{14} &= -0.469484 \times 10^{-30}
 \end{aligned}$$

36面

$$\begin{aligned}
 r &= -4472.59851 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= 0.108255 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.135832 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= 0.188102 \times 10^{-17} & C_{10} &= -0.163001 \times 10^{-22} \\
 C_{12} &= 0.128506 \times 10^{-26} & C_{14} &= -0.312367 \times 10^{-30}
 \end{aligned}$$

48面

$$\begin{aligned}
 r &= 279.53959 & \kappa &= 0.000000 \\
 C_4 &= 0.176353 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.889127 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= 0.132824 \times 10^{-16} & C_{10} &= -0.701110 \times 10^{-21}
 \end{aligned}$$

$$C_{12}=0.104172 \times 10^{-25} \quad C_{14}=-0.327893 \times 10^{-30}$$

(条件式対応値)

$$\beta 1 = -0.650$$

$$\beta 2 = -0.865$$

$$\beta 3 = -0.445$$

$$L1 = 320.8 \text{ mm}$$

$$L2 = 365.2 \text{ mm}$$

$$E = 466.7 \text{ mm}$$

$$D = 455.6 \text{ mm}$$

$$(1) |\beta 2| = 0.865$$

$$(2) |L1 - L2| / |L1| = 0.138$$

$$(3) |\beta| / |\beta 1| = 0.385$$

$$(4) |E - D| / |E| = 0.024$$

図14は、第3実施例における横収差を示す図である。

収差図において、Yは像高を、実線は中心波長157.624nmを、破線は157.624nm+1pm=157.625nmを、一点鎖線は157.624nm-1pm=157.623nmをそれぞれ示している。

収差図から明らかなように、第3実施例においても第1実施例および第2実施例と同様に、波長幅が157.624nm±1pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。

以上のように、第1実施例～第3実施例では、中心波長が157.624nmのF<sub>2</sub>レーザ光に対して、0.75の像側NAを確保するとともに、ウエハW上において色収差をはじめとする諸収差が十分に補正された半径が14.6mmのイメージサークルを確保することができる。したがって、22mm×6.6mmと十分に大きな矩形の実効露光領域を確保した上で、0.1μm以下の高解像を達成することができる。

また、第1実施例～第3実施例では、第2結像光学系G<sub>2</sub>がほぼ等倍の結像倍率β<sub>2</sub>を有し、互いに近接して形成される2つの中間像の近傍において光路分離を行っているので、ウエハW上において軸外し量Aを3mmと非常に小さく設定することができる。その結果、半径が14.6mmと比較的小さなイメージサークルにおいて22mm×6.6mmと比較的大きな矩形の実効露光領域を確保することができ、収差補正、小型化、光学調整、機械設計、製造コストなどの点で非常に優れた光学系を実現することができる。

さらに、第1実施例～第3実施例では、第1結像光学系G<sub>1</sub>および第3結像光学系G<sub>3</sub>が共通の基準光軸AXに沿って直立姿勢で使用されているので、レチクルRおよびウエハWを重力方向に直交する面（すなわち水平面）に沿って互いに平行に配置するとともに、第1結像光学系G<sub>1</sub>および第3結像光学系G<sub>3</sub>を構成するすべてのレンズを重力方向の単

一光軸AXに沿って水平に配置することができる。その結果、レチクルR、ウエハW、および投影光学系PLを構成する大部分のレンズ（各実施例とも数において91%）が水平に保持され、自重による非対称な変形を受けることなく、光学調整や機械設計や高解像度の確保が容易な構成となっている。

また、第1実施例～第3実施例では、第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2の反射面の交線が第1結像光学系G1の光軸AX1、第2結像光学系G2の光軸AX2、および第3結像光学系G3の光軸AX3と一点（基準点）で交わるように設定されている。そして、第1光路折り曲げ鏡1と第2光路折り曲げ鏡2とは、上面および下面が直角二等辺三角形形状である三角柱状の部材、すなわち1つの光路折り曲げ鏡FMとして一体的に形成されている。その結果、3つの光軸AX1～AX3および光路折り曲げ鏡FMの稜線を1つの基準点に関連して位置決めすることが可能となるので、光学系の安定性が増し、光学調整および機械設計が容易である。加えて、第2結像光学系G2の光軸AX2が第1結像光学系G1および第3結像光学系G3の共通光軸である基準光軸AXと直交するように設定されているので、さらに精度の高い光学調整が容易であり、光学系がさらに高い安定性を有する。

なお、第1、第2および第3実施例では、上述の通り第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2の反射面の交線が第1結像光学系G1の光軸AX1、第2結像光学系G2の光軸AX2、および第3結像光学系G3の光軸AX3と一点（基準点）で交わるように設定されているが、図15および図16に示したように、第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2の反射面の交線は、第1結像光学系G1の光軸AX1、第2結像光学系G2の光軸AX2、および第3結像光学系G3の光軸AX3の交点に位置しない構成も可能である。

ここで、図15は、第1の変形例による反射屈折光学系の概略構成図である。図15に示す反射屈折光学系は、第1結像光学系G1の光軸AX1と第3結像光学系G3の光軸AX3とが一致しており、第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2の反射面の交線が、第1結像光学系のAX1および第3結像光学系AX3に対して凹面鏡CMと反対側に位置している。

また、図16は、第2の変形例による反射屈折光学系の概略構成図である。図16に示す反射屈折光学系は、第1結像光学系G1の光軸AX1と第3結像光学系G3の光軸AX3とが一致しており、第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2の反射面の交線が、第1結像光学系のAX1および第3結像光学系のAX3に対して凹面鏡CM側に位置している。

また、上述の例では、第1結像光学系G1の光軸AX1および第2結像光学系G2の光軸AX2とが直交しており、かつ第2結像光学系G2の光軸AX2像光学系G3の光軸AX3とが直交としたが、図17に示す第3変形例のように、第1結像光学系G1の光軸AX1、第2結像光学系G2の光軸AX2および第3結像光学系G3の光軸AX3とを非直

交となるように構成しても良い。

また、上述の例では、第1結像光学系G1の光軸AX1と第3結像光学系G3の光軸AX3とが一致する構成であったが、図18に示す第4変形例のように、第1結像光学系G1の光軸AX1と第3結像光学系G3の光軸AX3とが互いに平行にシフトする構成も可能である。ここで、図18の第4変形例では、第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2の交線を第1結像光学系G1の光軸AX1および第3結像光学系G3の光軸AX3と一致していないが、第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2の交線を、第1結像光学系G1の光軸AX1および第2結像光学系G2の光軸AX2の交点、或いは第2結像光学系G2の光軸AX2および第3結像光学系G3の光軸AX3の交点と一致させる構成であっても良い。

また、上述の例では、第1結像光学系G1の光軸AX1と第3結像光学系G3の光軸AX3とが互いに平行（一致）としたが（第1結像光学系G1のAX1および第2結像光学系G2のAX2とが直交、かつ第2結像光学系G2のAX2および第3結像光学系G3のAX3とが直交としたが）、図19に示す第5変形例のように、第1結像光学系G1の光軸AX1と第3結像光学系G3の光軸AX3とを互いに非平行とする構成も可能である。なお、図19の第5変形例では、第1光路折り曲げ鏡1および第2光路折り曲げ鏡2の反射面の交線が第1結像光学系G1の光軸AX1、第2結像光学系G2の光軸AX2、および第3結像光学系G3の光軸AX3と一点（基準点）で交わるように設定されているが、図15および図16に示した第1および第2変形例のように基準点で交わらないように構成しても良い。

次に、図2に示す本実施形態の投影露光装置のさらに詳細な構成について説明する。

図8は、図2に示す本実施形態の投影露光装置の全体構成を示す図である。また、図9は、図8の投影露光装置の一部を構成する照明光学系に関連する部分を示す拡大図である。さらに、図10は、図8の投影露光装置の一部を構成する投影光学系に関連する部分を示す拡大図である。

まず、図8および図9を参照して、照明光学系1Lに関連する部分の詳細な構成について説明する。

図示の投影露光装置は、例えば自然発振（半値幅1、5  $\mu\text{m}$ 以下）で用いられる中心波長156、624 nmのF2レーザ光源100を備えている。ただし、本発明では、193 nmのArFエキシマレーザ光源、248 nmのKrFエキシマレーザ光源、126 nmのAr2レーザ光源などの適用を妨げない。なお、光源100は、露光装置本体が設置される床の階下の床に配置しても良い。この場合、露光装置本体の専有面積（フット・プリント）を小さくでき、かつ露光装置本体への振動の影響も低減できる。

光源100からの光は、ビーム・マッチング・ユニット（BMU）101を介して、第1照明系ケーシング110の内部へ導かれる。第1照明系ケーシング110は、その内部に可動光学素子を収納しており、ベースプレート200上の支持部材210により支持さ

れている。ビーム・マッチング・ユニット101は、光源100と露光装置本体との間の光路をマッチングさせる可動ミラーを含んでいる。なお、光源100とビーム・マッチング・ユニット101との間の光路は筒102によって光学的に接続され、ビーム・マッチング・ユニット101と第1照明系ケーシング110との間の光路は筒103によって光学的に接続されている。そして、筒102および筒103の光路内には、窒素、あるいはヘリウム等の希ガス（不活性ガス）が充填されている。

第1照明系ケーシング110の内部に導かれた光は、マイクロ・フライアイ・レンズ111（第1フライアイレンズ相当の光学系）、およびアフォーカル・ズーム・リレー光学系（両側テレセントリックなズーム光学系）を構成する各レンズ群（112, 113）を介した後、複数の回折アレイ光学素子または屈折アレイ光学素子を載置したターレット114に達する。ここで、マイクロ・フライアイ・レンズ111は、縦横に且つ稠密に配列された多数の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子である。一般に、マイクロ・フライアイ・レンズは、たとえば平行平面ガラス板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。また、回折アレイ光学素子としては、米国特許第5, 850, 300号に開示されているものを用いることができ、屈折アレイ光学素子としてはWO99/49505号（欧州特許公開第1069600号）に開示されている素子をエッチングの手法を用いて1枚の基板上に形成したものをを用いることができる。

ここでは、米国特許第5, 850, 300号およびWO99/49505号（欧州特許公開第1069600号）をレファレンスとして援用する。

ターレット114が支持する複数の回折アレイ光学素子または屈折アレイ光学素子のうち、照明光路中に位置決めされた1つの回折または屈折アレイ光学素子を介した光は、フォーカル・ズーム光学系（115, 116）を介して、マイクロ・フライアイ・レンズ117へ入射する。ここで、フォーカル・ズーム光学系（115, 116）の前側焦点位置は、ターレット114の回折または屈折アレイ光学素子の近傍に位置決めされる。また、マイクロ・フライアイ・レンズ117は、第2フライアイレンズ相当の光学系であるが、フライアイレンズよりもはるかに微小な多数の微小レンズから構成されており非常に大きな波面分割効果が得られるので、その射出側（後側焦点面）に照明開口絞りを備えていない。なお、マイクロ・フライアイ・レンズ117を、光軸に沿って間隔を隔てた一対のマイクロ・フライアイ・レンズで構成し、その屈折面に非球面を導入してもよい。この構成により、マイクロ・フライアイ・レンズ117におけるコマ収差の発生を良好に抑え、ひいてはレチクル上での照度ムラの発生を良好に抑えることができる。また、マイクロ・フライアイ・レンズ117の後側焦点面の近傍に、虹彩絞り、輪帯開口、及び4重極開口を備えるターレット型の絞りを配置しても良い。

マイクロ・フライアイ・レンズ117から射出された光は、コンデンサ光学系（118, 119）を介して、可動ブラインド機構120を重畳的に照明する。可動ブラインド機構120の前側焦点位置は、マイクロ・フライアイ・レンズ117により形成される面光源

(複数の光源像)位置近傍に位置決めされている。可動ブラインド機構120は、スリット状の開口部を有する固定照明視野絞り(固定ブラインド)121と、照明視野領域の走査方向の幅を変換するための可動ブラインド122とを備えている。可動ブラインド122によって、レチクルステージの走査方向の移動ストロークの低減、及びレチクルの遮光帯の幅の低減を図ることができる。なお、固定ブラインド121がレチクルと共役配置されている。可動ブラインド機構120の動作については、特開平4-196513号(米国特許第5,473,410号)に開示されている。

ここでは、米国特許第5,473,410号をレファレンスとして援用する。

可動ブラインド機構120を通過した光は、第1照明系ケーシング110から出て、第2照明系ケーシング130の内部へ導かれる。第2照明系ケーシング130の内部には、照明視野絞りをレチクル上に所定の拡大倍率で再結像させるための照明視野絞り結像光学系が納められている。照明視野絞り結像光学系を構成する各レンズ群(131~134)および光路折り曲げ鏡(135,136)は第2照明系ケーシング130に固定されているため、振動源にはならない。第2照明系ケーシング130は、ベースプレート200上の支持部材211により支持されている。なお、照明視野絞り結像光学系の倍率は、等倍であっても縮小倍率であっても良い。

ところで、第1照明系ケーシング110には、アフォーカル・ズーム・リレー光学系の各レンズ群(112,113)を光軸方向へ駆動するための駆動ユニット(142,143)が設けられている。駆動ユニット(142,143)は、照明光路内の汚染を防止するために、第1照明系ケーシング110の外側に取り付けられている。また、ターレット114を回転駆動させるための駆動ユニット144、およびアフォーカル・ズーム光学系を構成する各レンズ群(115,116)を光軸方向へ駆動するための駆動ユニット(145,146)が、照明光路内の汚染を防止するために、第1照明系ケーシング110の外側に取り付けられている。

さらに、コンデンサ光学系を構成する各レンズ群(118,119)を光軸方向へ駆動すると共に、少なくとも一方のレンズ群を光軸と直交する軸を中心として回転させ、他方のレンズ群を光軸と直交する方向へ移動させる(偏心させる)ための駆動ユニット(147,148)が、第1照明系ケーシング110の外側に取り付けられている。各レンズ群(118,119)の光軸方向への移動により、コンデンサ光学系の焦点距離を変化させて、レチクル面上に、ひいてはウエハ面上に形成される照明領域の大きさおよび照明NA(開口数)を互いに独立に適宜変更することができる。また、各レンズ群(118,119)の回転・偏心により、ウエハ面上での傾斜方向の照度、及び傾斜方向のテレセントリック性のコントロールが可能になる。また、上述の照野可変とは別に、一方のレンズ群を光軸方向へ移動させることにより、ウエハ面上での光軸に対称な照度コントロールが可能となる。

また、第1照明系ケーシング110の外側には、その内部に窒素、あるいはヘリウム等

の希ガス（不活性ガス）を流入させるための配管 151、および第 1 照明系ケーシング 110 から窒素、あるいはヘリウム等の希ガス（不活性ガス）を排出させるための配管 152 が設けられている。そして、配管（151、152）には、ガス流入量／流出量をコントロールするための弁（161、162）がそれぞれ設けられている。なお、不活性ガスがヘリウムの場合、配管（151、152）は、例えば特開平 11-219902 号（W099/25010 号、欧州特許公開第 1030351 号）に開示されたヘリウム回収・再生装置に接続されている。

ここでは、欧州特許公開第 1030351 号をレファレンスとして援用する。

一方、第 2 照明系ケーシング 130 の外側には、その内部に窒素、あるいはヘリウム等の希ガス（不活性ガス）を流入させるための配管 153、および第 2 照明系ケーシング 130 から窒素、あるいはヘリウム等の希ガス（不活性ガス）を排出させるための配管 154 が設けられている。そして、配管（153、154）には、ガス流入量／流出量をコントロールするための弁（163、164）がそれぞれ設けられている。なお、不活性ガスがヘリウムの場合、配管（153、154）も、上記ヘリウム回収・再生装置に接続されている。

第 1 照明系ケーシング 110 と可動ブラインド機構 120 とを接続するためのペローズ 170、および可動ブラインド機構 120 と第 2 照明系ケーシング 130 とを接続するためのペローズ 171 が設けられている。ペローズ（170、171）は、ある程度の可撓性を有するがそれ程変形量が大きくなく、且つ脱ガスが少ない材料、例えば金属、またはゴム・樹脂をアルミコートしたもので形成されている。

以上のように構成された照明光学系 1L では、レーザー光源 100 からマイクロ・フライアイ・レンズ 111 に入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、各微小レンズの後側焦点面にはそれぞれ 1 つの光源像が形成される。マイクロ・フライアイ・レンズ 111 の後側焦点面に形成された多数の光源像（面光源）からの光束は、アフォーカル・ズーム・リレー光学系（112、113）を介して、ターレット 114 によって照明光路中に配置された 1 つの回折アレイ光学素子、たとえば輪帯変形照明用の回折光学素子に入射する。輪帯変形照明用の回折光学素子を介してリング状に変換された光束は、アフォーカル・ズーム光学系（115、116）を介して、その後側焦点面に、ひいてはマイクロ・フライアイ・レンズ 117 の入射面に輪帯状の照野を形成する。

マイクロ・フライアイ・レンズ 117 に入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、光束が入射した各微小レンズの後側焦点面には光源像がそれぞれ形成される。こうして、マイクロ・フライアイ・レンズ 117 の後側焦点面には、マイクロ・フライアイ・レンズ 117 への入射光束によって形成される照野と同じ輪帯状の多数光源（二次面光源）が形成される。この二次面光源からの光は、コンデンサ光学系（118、119）の集光作用を受けた後、レチクル R と光学的に共役な所定面を重畳的に照明する。こうして、この所定面に配置された固定ブラインド 121 上に、マイクロ・フライアイ・レ

レンズ 117 を構成する各微小レンズの形状と相似な矩形の照野が形成される。可動ブラインド機構 120 の固定ブラインド 121 および可動ブラインド 122 を介した光束は、照明視野絞り結像光学系 (131 ~ 134) の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたレチクル R を重畳的に均一照明する。

ここで、ターレット 114 によって照明光路中に配置される回折アレイ光学素子または屈折アレイ光学素子を切り換えることにより、輪帯変形照明や多重極 (たとえば 2 極 (2 つ目) 状、4 極 (4 つ目) 状、8 極 (8 つ目) 状など) 変形照明のような変形照明および通常円形照明を行うことができる。また、たとえば輪帯変形照明の場合、アフォーカル・ズーム・リレー光学系 (112, 113) の倍率を変化させることにより、輪帯状の二次光源の大きさ (外径) およびその形状 (輪帯比) をともに変更することができる。さらに、アフォーカル・ズーム光学系 (115, 116) の焦点距離を変化させることにより、輪帯状の二次光源の輪帯比を変更することなくその外径を変更することができる。以上より、アフォーカル・ズーム・リレー光学系 (112, 113) の倍率とアフォーカル・ズーム光学系 (115, 116) の焦点距離とを適宜変化させることにより、輪帯状の二次光源の外径を変化させることなくその輪帯比だけを変更することができる。

次いで、図 8 および図 10 を参照して、投影光学系 PL に関連する部分の詳細な構成について説明する。

図示の投影露光装置は、クリーンルームの床上に水平に設置され、装置の基準となるベースプレート (フレームキャスタ) 200 を備えている。ベースプレート 200 上には、複数の支持部材 (221, 222) が立設されている。図面には 2 本の支持部材しか示されていないが、実際には 4 本の支持部材が立設されている。なお、支持部材を 3 本としても良い。

各支持部材 (221, 222) には、床面からの振動をマイクロ G レベルで絶縁するための防振ユニット (231, 232) がそれぞれ取り付けられている。防振ユニット (231, 232) では、内圧が制御可能なエアマウントと電磁アクチュエータ (例えばボイスコイルモータ) とが並列あるいは直列に配置されている。防振ユニット (231, 232) の作用により、投影光学系を保持するコラム 240 には床面からの振動の伝達が低減される。コラム 240 上には、レチクルステージ定盤 301 を支持する複数の支持部材 (251, 252) が立設されている。図中、支持部材 (251, 252) が 2 本しか示されていないが、実際には 4 本 (3 本でも良い) である。

図示の投影露光装置は、レチクルベース定盤 301 上に浮上支持されたレチクルステージ RS を備えている。レチクルステージ RS は、レチクル R をレチクルベース定盤 301 上で Y 軸方向に大きなストロークで直線駆動すると共に、X 軸、Y 軸方向及び  $\theta_z$  (Z 軸回りの回転方向) に微小駆動することができるように構成されている。なお、レチクルステージ RS としては、レチクルベース定盤とレチクルステージとの間のレチクルベース、及びレチクルステージを備え、レチクルステージの移動方向と逆方向に運動量を保存する



ようにレチクルベースを移動させるものを用いても良い。このようなレチクルステージは、例えば特開平 11-251217 号（1999年3月2日に出願された米国特許出願第260544号）に開示される。また、レチクルステージとしては、特開平 10-209039 号（欧州特許公開第855623号）や特開平 10-214783 号（欧州特許公開第951054号）に開示されるような2枚のレチクルをY軸方向（走査方向）に沿って保持するものを用いても良い。

ここでは、米国特許出願第260544号、欧州特許公開第855623号、および欧州特許公開第951054号をレファレンスとして援用する。

レチクルベース定盤301上には、レチクルステージRSのXY方向の位置や移動量を計測するためのレチクル干渉計RIFが設けられている。なお、レチクルステージRSの端部が反射面となっており、この反射面がレチクル干渉計RIFの移動鏡となっている。また、レチクルベース定盤301上には、レチクルR近傍の光路を不活性ガス（窒素、ヘリウム等）で密閉した空間を形成するためのレチクル室隔壁310が設けられている。なお、図示なきレチクルストッカからレチクルを搬入・搬出するための扉は、図示を省略している。また、レチクル室へのレチクルの搬入に先立ってレチクルを一時的に収納して内部の気体を不活性ガスに置換するためのレチクル予備室を、レチクル室に隣接して設けても良い。

レチクル室隔壁310と第2照明系ケーシング130とを接続するためのペローズ321が設けられているが、このペローズ321の材料はたとえば上述のペローズ（170，171）と同じである。レチクル室隔壁310の外側には、レチクル室内に窒素、あるいはヘリウム等の希ガス（不活性ガス）を流入させるための配管331、およびレチクル室から窒素、あるいはヘリウム等の希ガス（不活性ガス）を排出させるための配管332が設けられている。なお、不活性ガスがヘリウムの場合、配管（331，332）も、前述したヘリウム回収・再生装置に接続されている。

配管（331，332）には、ガス流入量／流出量をコントロールするための弁（341，342）が設けられている。また、レチクルベース定盤301と投影光学系とを接続するペローズ351が設けられている。ペローズ351の材料も、たとえばペローズ321と同じである。こうして、レチクル室隔壁310、およびペローズ（321，351）の作用により、レチクルR近傍の空間が密閉される。

図示の投影露光装置はまた、ウエハステージ定盤401を備えている。ウエハステージ定盤401は、床面からの振動をマイクロGレベルで絶縁するための防振ユニット（411，412）の作用によって、ベースプレート200上で水平に支持されている。防振ユニット（411，412）では、内圧が制御可能なエアマウントと電磁アクチュエータ（例えばボイスコイルモータ）とが並列あるいは直列に配置されている。ウエハステージ定盤401上には、XY方向へ移動可能に構成されたウエハステージWSが浮上載置されている。

ウエハステージWSは、 $\theta_x$ （X軸回りの回転方向）および $\theta_y$ （Y軸回りの回転方向）の2軸方向に傾き可能とし且つZ軸方向へ移動可能とするためのZ・レベリングステージと、 $\theta_z$ （Z軸回りの回転方向）方向へ移動可能とするための $\theta$ ステージとを含んでいる。ウエハステージWSとしては、例えば特開平 8-63231 号公報（英国特許公開第2290658号）に開示されたものを用いることができる。また、特開平 10-163097 号、特開平 10-163098 号、特開平 10-163099 号、特開平 10-163100 号、特開平 10-214783 号（欧州特許公開第951054号）、または特開平 10-209039 号（欧州特許公開第855623号）、あるいはWO98/28665号またはWO98/40791号に記載されるように、2つのウエハステージを設けても良い。

ここでは、英国特許公開第2290658号、欧州特許公開第855623号、欧州特許公開第951054号、WO98/28665号およびWO98/40791号を参考文献として援用する。

ウエハステージWS上には、ウエハWを真空吸着及び／又は静電吸着して載置するためのウエハテーブル（ウエハホルダ）WTが設けられている。また、ウエハステージ定盤401上には、ウエハW近傍の光路を不活性ガス（窒素、ヘリウム等）で密閉した空間を形成するためのウエハ室隔壁411が設けられている。なお、図示なきウエハストッカからウエハを搬入・搬出するための扉は、図示を省略している。また、ウエハ室へのウエハの搬入に先立ってウエハを一時的に収納して内部の気体を不活性ガスに置換するためのウエハ予備室を、ウエハ室に隣接して設けても良い。

投影光学系の鏡筒（あるいはコラム240）には、センサカラムSCが固定されている。このセンサカラムSCには、ウエハW上のアライメントマークのXY2次元方向の位置を光学的に計測するためのアライメントセンサ421、ウエハのZ軸方向（光軸方向）の位置及び $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ の3軸方向の傾きを検出するためのオートフォーカス・レベリングセンサ422、及びウエハテーブルWTのXY方向の位置や移動量を計測するためのウエハ干渉計WIFが取り付けられている。

アライメントセンサ421は、ウエハW上のアライメントマークを、ハロゲンランプ等の広波長域光で照明し、このマーク画像を画像処理することによりマーク位置を計測するFIA（Field Image Alignment）系、レーザ光をマークに照射して、マークにて回折・散乱された光を利用してマーク位置を計測するLSA（Laser Step Alignment）系、及び回折格子状のアライメントマークに周波数をわずかに異ならせたレーザ光を2方向から照射し、マークにて発生した2つの回折光同士を干渉させて、その位相からマークの位置情報を検出するLIA（Laser Interferometric Alignment）系のうち、少なくとも1つを適用できる。

オートフォーカス・レベリングセンサ422は、ウエハWの被露光面が投影光学系の像面に焦点深度の範囲内で合致（合焦）しているか否かを検出する。このオートフォーカス・レベリングセンサ422は、マトリクス状に配置された複数箇所の検出点のZ軸方向の

位置を検出するものを適用できる。なお、この場合、複数箇所の検出点は、投影光学系が形成するスリット状の露光領域を包含する範囲に設定される。

ウエハ干渉計W I Fは、ウエハステージW SのXY方向の位置や移動量を計測する。ウエハステージW Sの端部が反射面となっており、この反射面がウエハ干渉計W I Fの移動鏡となっている。ウエハ室隔壁411の外側には、ウエハ室内に窒素、あるいはヘリウム等の希ガス（不活性ガス）を流入させるための配管431、およびウエハ室から窒素、あるいはヘリウム等の希ガス（不活性ガス）を排出させるための配管432が設けられている。

なお、不活性ガスがヘリウムの場合、配管（431、432）も、上述のヘリウム回収・再生装置に接続されている。配管（431、432）には、ガス流入量／流出量をコントロールするための弁（441、442）がそれぞれ設けられている。ウエハステージ定盤401上には、ウエハ室隔壁411とセンサカラムS Cとを接続するペローズ451が立設されている。ペローズ451の材料は、たとえば上述のペローズ321と同じである。こうして、ウエハ室隔壁411およびペローズ451の作用により、ウエハW近傍の空間が密閉される。

図示の投影露光装置はさらに、投影光学系内のページ空間の蓋の機能を有する平行平面板L1を備えている。投影光学系は、レチクルRのパターンの1次像（第1中間像）を形成するための第1結像光学系を備えている。第1結像光学系は、各レンズ（L2～L7：図2の第1結像光学系G1中のL11～L110に対応）から構成されている。平行平面板L1およびレンズ（L2～L7）は、分割鏡筒（501～507）にそれぞれ収納されている。各分割鏡筒間の接続手法は、たとえば特開平 7-86152 号公報（米国特許第5,638,223号）に開示されている。ここでは、米国特許第5,638,223号をレファレンスとして援用する。

平行平面板L1は、セル511によって保持されている。セル511は、平行平面板L1の上面と下面とを挟み込むようにして平行平面板L1を保持している。挟み込む箇所は、平行平面板L1の周方向（ $\theta$  z方向）における複数箇所（3箇所以上）である。ここで、平行平面板L1とセル511の間は気密構造となっている。各レンズ（L2～L7）は、セル（512～517）によってそれぞれ保持されている。セル（512～517）は、各レンズ（L2～L7）の周縁部に設けられた鏝の上面と下面とを挟み込むようにして各レンズ（L2～L7）を保持している。挟み込む箇所は、レンズの周方向における複数箇所（但し3箇所以上）である。

分割鏡筒（501～507）とセル（511～517）とは、フレーム521～527によって接続されている。なお、フレーム（522～527）には、投影光学系の内部に流入される不活性ガス（ヘリウム）を通過させるための開口が、その周方向に沿った複数の位置に設けられている。また、フレーム521と分割鏡筒501との間は気密構造となっている。

第1結像光学系には、レンズL2を光軸方向（Z方向）へ移動させ、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向へ傾斜させるためのアクチュエータ532が設けられている。このアクチュエータ532は、光軸から等距離であって周方向（ $\theta_z$ 方向）で異なる3箇所の位置にピッチ120°で設けられている。アクチュエータ532としては、リニアモータ、ピエゾ素子、加圧流体または気体により駆動されるシリンダ機構などを用いることができる。3箇所のアクチュエータ532の駆動量を同量とすると、レンズL2を光軸方向へ移動させることができる。また、3箇所のアクチュエータ532の駆動量が各々異なるように設定することにより、レンズL2を $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向へ傾斜させることができる。なお、アクチュエータ533、535、536、537も、アクチュエータ532と同じ機能を有する。

また、第1結像光学系には、レンズL3をXY平面内で移動させるためのアクチュエータ543が設けられている。このアクチュエータ543は、アクチュエータ533とフレーム523との間であって、光軸から等距離で且つ周方向（ $\theta_z$ 方向）で異なる3箇所の位置にピッチ120°で設けられている。アクチュエータ543としては、アクチュエータ532と同様に、リニアモータ、ピエゾ素子、加圧流体または気体により駆動されるシリンダ機構などを用いることができる。分割鏡筒511には、投影光学系内部にヘリウムを流入させるための配管551が設けられている。この配管551も、上述のヘリウム回収・再生装置に接続されている。配管551には、ガス流入量をコントロールするための弁561が設けられている。

投影光学系は、第1光路折り曲げ鏡及び第2光路折り曲げ鏡が一体に形成された光路折り曲げ鏡FMを備えている。光路折り曲げ鏡FMは、例えば上面及び下面が直角二等辺三角形形状である三角柱状の部材における2つの側面にアルミニウム等の金属を蒸着することにより形成されている。なお、金属膜の代わりに、誘電体多層膜を蒸着しても良い。この場合、誘電体多層膜の材料物質として、フッ化アルミニウム、クライオライト、チオライト、フッ化リチウム、フッ化ナトリウム、フッ化バリウム、フッ化カルシウム、フッ化マグネシウム、フッ化イットリウム、フッ化イットリビウム、フッ化ネオジウム、フッ化ガドリニウム、フッ化ランタン、フッ化オスミウム、フッ化ストロンチウムなどの金属フッ化物を用いることができる。また、アルミニウム等の金属膜上に誘電体多層膜を設ける構成であっても良い。この場合、誘電体多層膜は、金属膜の酸化防止等を行う保護コートとしての機能を有する。そして、この誘電体多層膜には、金属膜からの反射光に生じるP偏光及びS偏光間の位相差を少なくするように補正する機能や、P偏光及びS偏光間の位相差の入射角（反射角）による差（PS位相差の角度特性）を所望の入射角の範囲でほぼ均一にするように補正する機能を持たせることが可能である。ここで、P偏光及びS偏光間の位相差が存在すると、結像面においてP偏光による像とS偏光による像との結像位置がずれて像質の悪化を招き、所要の解像を得られなくなるため好ましくない。また、第1及び第2光路折り曲げ鏡を1つの部材上に形成する代わりに、2つの平面鏡を互いに直交するように保持しても良い。この場合、例えば特開2000-28898号に開示される手法で2つの

平面鏡を調整自在に保持することが考えられる。

投影光学系はまた、第1結像光学系が形成した第1中間像からの光に基づいて、第1中間像とほぼ等倍の第2中間像（パターンの2次像）を形成するための第2結像光学系を備えている。第2結像光学系は、レンズ（L8、L9：図2の第2結像光学系G2中の負レンズL21、L22に対応）と、凹面反射鏡CMとを備えている。この凹面反射鏡CMの材料としては、SiC或いはSiCとSiとのコンポジット材を用いることができる。このとき、脱ガス防止のために凹面反射鏡CM全体をSiCでコーティングすることが好ましい。また、凹面反射鏡の反射面は、アルミニウム等の金属を蒸着することにより形成される。なお、金属膜の代わりに、誘電体多層膜を蒸着しても良い。この場合、誘電体多層膜の材料物質として、フッ化アルミニウム、クライオライト、チオライト、フッ化リチウム、フッ化ナトリウム、フッ化バリウム、フッ化カルシウム、フッ化マグネシウム、フッ化イットリウム、フッ化イットリビウム、フッ化ネオジウム、フッ化ガドリニウム、フッ化ランタン、フッ化オスミウム、フッ化ストロンチウムなどの金属フッ化物を用いることができる。また、アルミニウム等の金属膜上に誘電体多層膜を設ける構成であっても良い。この場合、誘電体多層膜は、金属膜の酸化防止等を行う保護コートとしての機能を有する。そして、この誘電体多層膜には、金属膜からの反射光に生じるP偏光及びS偏光間の位相差を少なくするように補正する機能や、P偏光及びS偏光間の位相差の入射角（反射角）による差（P位相差の角度特性）を所望の入射角の範囲でほぼ均一にするように補正する機能を持たせることが可能である。ここで、P偏光及びS偏光間の位相差が存在すると、結像面においてP偏光による像とS偏光による像との結像位置がずれて像質の悪化を招き、所要の解像を得られなくなるため好ましくない。凹面反射鏡材料としては、ULEまたはBeを用いても良い。Beを用いる場合には、凹面反射鏡全体をSiC等でコーティングすることが好ましい。

ところで、光路折り曲げ鏡FM及びレンズL8は分割鏡筒601に収納され、レンズL9は分割鏡筒602に収納され、凹面反射鏡CMは分割鏡筒603に収納されている。分割鏡筒601には、光路折り曲げ鏡FMを保持するための保持部材するための保持部材610が取り付けられている。この保持部材610と分割鏡筒601との間に、光路折り曲げ鏡FM（第1及び第2光路折り曲げ鏡）の $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ 方向の姿勢及びXYZ方向の位置を調整するための機構を設けても良い。

第2結像光学系のレンズ（L8、L9）は、支持部材（611、612）によって支持されている。この支持部材（611、612）としては、特開平6-250074号、特開平11-231192号公報に開示されているものを適用できる。また、第2結像光学系の凹面反射鏡CMは、支持部材613によって支持されている。この支持部材613としては、特開平6-250074号、特開平11-231192号公報に開示されているものを適用できる。

投影光学系はさらに、第2結像光学系が形成した第2中間像からの光に基づいて、ウエハW上に最終像（パターンの縮小像）を形成するための第3結像光学系を備えている。第

3 結像光学系は、レンズ（L10～L13：図2の第3結像光学系G3中のL31～L311に対応）と可変開口絞りユニットASとを備えている。ここで、レンズL10は分割鏡筒701に収納され、レンズL11は分割鏡筒702に収納されている。この分割鏡筒702には、カラム240によって支持されるフランジ部FLが設けられている。フランジ部FLとカラム240との接続手法としては、例えば特開平6-300955号（米国特許第5,576,895号）や特開平11-84199号公報に開示されている技術を適用できる。また、フランジ部FLには、センサコラムSCが取り付けられている。ここでは、米国特許第5,576,895号をレファレンスとして援用する。

また、可変開口絞りユニットASは分割鏡筒703に収納され、レンズ（L12, L13）は分割鏡筒（704, 705）に収納されている。レンズ（L10～L13）は、セル（711～712, 714～715）によってそれぞれ保持されている。セル（711～712, 714）の構造は、上述のセル512と同じである。また、セル715では、レンズL13とセル715との間が気密構造となっている。

第3結像光学系には、分割鏡筒（701～702, 704～705）とセル（711～712, 714～715）とを接続するためのフレーム（721～722, 724～725）が設けられている。なお、フレーム（721～722, 724）には、投影光学系内部に流入される不活性ガス（ヘリウム）を通過させるための開口が、その周方向に沿った複数の位置に設けられている。また、セル715と分割鏡筒705との間は気密構造となっている。

また、第3結像光学系には、レンズ（L10～L12）を光軸方向（Z方向）へ移動させ、 $\theta_x$ ,  $\theta_y$ 方向へ傾斜させるためのアクチュエータ（731～732, 734）が設けられている。アクチュエータ（731～732, 734）は、アクチュエータ532と同じ構成である。分割鏡筒705には、投影光学系からヘリウムを排出させるための配管751が設けられている。この配管751も、上述のヘリウム回収・再生装置に接続されている。配管751には、ガス流出量をコントロールするための弁761が設けられている。

次に、上述した露光装置及び露光方法をリソグラフィ工程で使用したデバイスの製造方法の実施形態について説明する。

図11は、デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートを示す図である。図11に示すように、まず、ステップ201（設計ステップ）において、デバイス（マイクロデバイス）の機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ202（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスク（レチクル）を製作する。一方、ステップ203（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

次に、ステップ204（ウエハ処理ステップ）において、ステップ201～ステップ2

03で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ205（デバイス組立ステップ）において、ステップ204で処理されたウエハを用いてデバイス組立を行う。このステップ205には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。

最後に、ステップ206（検査ステップ）において、ステップ205で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

図12は、半導体デバイスの場合における、図11のステップ204の詳細なフローの一例を示す図である。図12において、ステップ211（酸化ステップ）においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ212（CVDステップ）においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ213（電極形成ステップ）においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ214（イオン打込みステップ）においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ211～ステップ214のそれぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ215（レジスト形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ216（露光ステップ）において、上で説明したリソグラフィシステム（露光装置）及び露光方法によってマスクの回路パターンをウエハに転写する。次に、ステップ217（現像ステップ）においては露光されたウエハを現像し、ステップ218（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ219（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

以上説明した本実施形態のデバイス製造方法を用いれば、露光工程（ステップ216）において上記の露光装置及び上で説明した露光方法が用いられ、真空紫外域の露光光により解像力の向上が可能となり、しかも露光量制御を高精度に行うことができるので、結果的に最小線幅が0.1  $\mu\text{m}$ 程度の高集積度のデバイスを歩留まり良く生産することができる。

なお、本実施形態では、投影光学系内部に接続された配管を2箇所としているが、配管の数は2箇所には限られない。例えば各レンズ室（光学部材間の間隔）のそれぞれに対応させた数の配管（流入口／流出口）を設けても良い。また、投影光学系、照明光学系内のガスの気圧変動は、所定値以下に抑えられている。このとき、気圧変動の許容値は、投影光学系の方が厳しくなるように設定される。

また、照明光学系や投影光学系の光学素子間に充填または循環される不活性ガスの圧力変化を検出して、この検出結果に基づいて収差補正用の光学素子（図8～図10の例ではL2～L3, L5～L7, L10～L12）を駆動しても良い。このような技術は、例えばW099/10917号（欧州特許公開第1020897号）に開示されている。ここでは、欧州特許公開第1020897号をレファレンスとして援用する。

さらに、照明光学系の光路、レチクル室内の光路、投影光学系内の光路、及びウエハ室内の光路における吸光物質（露光ビームを吸収する物質、波長157nmのF<sub>2</sub>レーザ光に対する吸光物質としては、酸素（O<sub>2</sub>）、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）等の気体、水蒸気（H<sub>2</sub>O）等がある）の濃度及び／又は総量を、互いに独立に管理することが好ましい。例えば、ウエハ室及びレチクルは、光路が短いため、吸光物質の許容濃度及び／又は許容総量を緩く設定することができる。これにより、レチクル交換、ウエハ交換のために、外気との接触や吸光物質の混入が避けたいレチクル室、ウエハ室の閉閉機構の簡素化を図ることができる。また、光路が長くなりがちな照明光学系内は、吸光物質の許容濃度及び／又は許容総量を厳しく設定する。

本実施形態のようにF<sub>2</sub>レーザを用いる場合、この波長（157nm）に対して透過性の気体としては、窒素（N<sub>2</sub>）の他に、ヘリウム（He）、ネオン（Ne）、アルゴン（Ar）等の希ガスがある。ここで、ヘリウムガスは、熱伝導率が窒素ガスの約6倍であり、気圧変化に対する屈折率の変動量が窒素ガスの約1/8であるため、特に高透過率と光学系の結像特性の安定性及冷却性とで優れている。そこで、本実施形態では、干渉計（ウエハ干渉計、レチクル干渉計）の光路となるウエハ室及びレチクル室、並びに投影光学系内部の気体をヘリウムとし、運転コストを低減させるために照明光学系の光路を窒素ガスとしている。なお、照明光学系の光路中の気体をヘリウムとしても良く、ウエハ室及びレチクル室、並びに投影光学系光路中の気体を窒素としても良い。

また、照明光学系及び投影光学系を構成する光透過性の光学材料（レンズ、平行平板、マイクロ・フライアイ・レンズ、回折光学素子）としては、螢石（CaF<sub>2</sub>）の他に、フッ素をドーブした石英ガラス、フッ素に加えて水素もドーブされた石英ガラス、OH基を含有させた石英ガラス、フッ素に加えてOH基を含有する石英ガラス等の改良石英も用いることができる。従って、照明光学系及び投影光学系を構成する光透過性の光学材料は、上記改良石英を含んでいても良い。なお、フッ素をドーブした石英ガラスにおいて、フッ素濃度は100ppm以上が好ましく、500ppm～30000ppmの範囲内であることがさらに好ましい。フッ素に加えて水素もドーブされた石英ガラスにおいて、水素濃度は、 $5 \times 10^{15}$  molecules/cm<sup>3</sup>以下であることが好ましく、 $1 \times 10^{15}$  molecules/cm<sup>3</sup>以下であることがさらに好ましい。また、OH基を含有させた石英ガラスにおいて、OH基の濃度は10ppb～100ppmの範囲内であることが好ましい。また、フッ素に加えてOH基も含有する石英ガラスにおいて、フッ素濃度は100ppm以上であり、かつOH基濃度はフッ素濃度よりも低いことが好ましい。さらにこの場合、OH基濃度は10ppb～20ppmの範囲内であることが好ましい。



本実施形態のように投影光学系の光軸を含まない領域を用いて結像させる場合、照明光学系としては例えば特開 2000-21765 号（1999 年 7 月 1 日に出願された米国特許出願第 340236 号）に開示されているものを用いることができる。ここでは、米国特許出願第 340236 号をレファレンスとして援用する。

また、本実施形態では、投影光学系を構成する光学素子のうちの一部の光学素子を  $\theta x$ 、 $\theta y$  方向に傾動可能及び／又は XY 平面内で移動可能としたが、光学素子の光学面（屈折面・反射面）を直交する子午方向で異なるパワーを有するように形成し（アス面加工を行い）、この光学素子を光軸を中心とする回転方向（第 1 及び第 3 結像光学系では  $\theta z$  方向）に回転可能に設けても良い。これにより、投影光学系の光軸上の非点隔差（センターアス）や菱形ディストーションなどの非対称収差を補正することができる。

例えば、フレームと分割鏡筒との間に、フレームの円周の接線方向に沿った駆動軸を有するアクチュエータを設け、分割鏡筒に対してフレームを  $\theta z$  方向へ駆動する構成が考えられる。このとき、アクチュエータは、光軸から等距離で且つ周方向（ $\theta z$  方向）で異なる複数箇所の位置に等しい角度ピッチで設けることが好ましい。また、このようなアス面を有する光学部材を回転させる機構は、例えば特開 平-327895 号（米国特許第 5,852,518 号）に開示されている。ここでは、米国特許第 5,852,518 号をレファレンスとして援用する。

また、照明光学系のページ空間及び／又は投影光学系のページ空間の外側にページ空間を形成しても良い。この場合、外側のページ空間の吸光物質の許容濃度・許容総量は、内側のページ空間（照明光学系のページ空間及び／又は投影光学系のページ空間）よりも緩く設定される。

さらに、投影光学系の最もウエハ側のレンズのウエハ側に、平行平板を設けて、レチクル側と同様に、平行平板を投影光学系のページ空間の蓋としても良い。

また、光源としては、本実施形態のように波長 157 nm のパルス光を供給する  $F_2$  レーザ光のみならず、波長 248 nm の光を供給する KrF エキシマレーザ、波長 193 nm の光を供給する ArF エキシマレーザ、波長 126 nm の光を供給する  $Ar_2$  レーザを用いても良い。また、DFB 半導体レーザまたはファイバレーザから発振される赤外域、または可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（またはエルビウムとイットリビウムの双方）がドープされたファイバアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換された高調波を用いても良い。

また、半導体素子などのマイクロデバイスだけではなく、露光装置、EUV 露光装置、X 線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるレチクル又はマスクを製造するため、マザーレチクルからガラス基板やシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。ここで、DUV（深紫外）やVUV（真空紫外）光などを用いる露光装置では、一般的に透過型レチクルが用いられ、レチクル基板としては石英ガラス、フッ素がドープされた石英ガラス、螢石、フッ化マグネシウム、または水晶などが

用いられる。また、プロキシミティ方式のX線露光装置や電子線露光装置などでは、透過型マスク（ステンシルマスク、メンブレンマスク）が用いられ、マスク基板としてはシリコンウエハなどが用いられる。なお、このような露光装置は、WO99/34255号（欧州特許公開第1043625号）、WO99/50712号（2000年9月13日に出願された米国特許出願第661396号）、WO99/66370号、特開平11-194479号、特開2000-12453号、特開2000-29202号などに開示されている。ここでは、欧州特許公開第1043625号、米国特許出願第661396号、WO99/66370号をレファレンスとして援用する。

もちろん、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけではなく、液晶表示素子（LCD）などを含むディスプレイの製造に用いられてデバイスパターンをガラスプレート上へ転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられてデバイスパターンをセラミックウエハ上へ転写する露光装置、及びCCD等の撮像素子の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。

上記実施形態では、本発明がスキヤニング・ステップに適用された場合について説明したが、マスクと基板とを静止した状態でマスクのパターンを基板へ転写し、基板を順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置にも本発明を適用できる。

なお、上記実施形態では、第3結像光学系中に開口絞りを配置しているが、開口絞りを第1結像光学系中に配置してもよい。また、第1結像光学系と第2結像光学系との間の中間像位置、および第2結像光学系と第3結像光学系との間の中間像位置の少なくとも一方に視野絞りを配置してもよい。

また、上記実施形態では、反射屈折投影光学系の投影倍率を縮小倍率としたが、投影倍率は縮小に限られず、等倍、拡大倍率であっても良い。例えば、投影倍率を拡大倍率とする場合には、第3結像光学系側から光を入射させるように配置し、第3結像光学系によってマスクまたはレチクルの1次像を形成し、第2結像光学系により2次像を形成し、第1結像光学系により3次像（最終像）をウエハ等の基板上に形成させれば良い。

以上説明したように、上記各実施例の反射屈折光学系および該光学系を用いた投影露光装置および露光方法では、光学調整および機械設計が容易で、色収差をはじめとする諸収差が十分に補正され、たとえば波長が180nm以下の真空紫外線波長域の光を用いて0.1μm以下の高解像を達成することができる。特に、上記各実施例では、ほぼ等倍の結像倍率を有する第2結像光学系が互いに近接して形成する2つの中間像の近傍において光路分離を行う。その結果、露光領域の光軸からの距離すなわち軸外し量を小さく設定することができ、収差補正、小型化、光学調整、機械設計、製造コストなどの点で非常に有利である。

また、上記実施例では、レチクル面とウエハ面とが互いに平行で且つ重力方向に対して垂直であるため、各露光ごと（各レイヤごと）の重ね合わせ精度やレチクルとウエハとの

同期精度の向上を図ることができる。このとき、2つの光軸のみであるため、光学調整や機械設計が容易となる。そして、半透鏡や偏光ビームスプリッタのような透過反射面を用いることなく、レチクル面とウエハ面とを互いに平行で且つ重力方向に対して垂直としているため、低吸収で高消光比の透過反射膜や、高精度な1/4波長板、均質性の良いプリズム材料が要求されず、透過反射面で生じる迷光等も生じない。

さらに、上記実施例の投影露光装置および露光方法を用いたマイクロデバイス製造方法では、光学調整および機械設計が容易で、色収差をはじめとする諸収差が十分に補正され、たとえば0.1  $\mu\text{m}$ 以下の高解像を達成することのできる投影光学系を介して、良好なマイクロデバイスを製造することができる。

上記の実施の態様は、あくまでも本発明の技術的内容を明らかにする意図のものであって、本発明は上記の実施の態様に限定して狭義に解釈されるものではなく、本発明の精神とクレームに述べる範囲内で、さまざまな変形をとりうる。

I claim:

1. 第1面の縮小像を第2面上に形成する反射屈折光学系は、

前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置されて、前記第1面の第1中間像を形成するための第1結像光学サブシステム、該第1結像光学サブシステムは屈折結像光学系を有する；

前記第1中間像が形成される位置の近傍に配置されて、前記第1中間像へ向かう光束または前記第1中間像からの光束を偏向するための第1折り曲げ鏡；

凹面反射鏡と少なくとも1つの負レンズとを有し、前記第1中間像からの光束に基づいて前記第1中間像とほぼ等しい倍率の第2中間像を前記第1中間像の形成位置の近傍に形成するための第2結像光学サブシステム；

前記第2中間像の形成位置の近傍に配置されて、前記第2中間像へ向かう光束または前記第2中間像からの光束を偏向するための第2折り曲げ鏡；および

前記第2結像光学サブシステムと前記第2面との間の光路中に配置されて、前記第2中間像からの光束に基づいて前記縮小像を前記第2面上に形成するための第3結像光学サブシステム、該第3結像光学サブシステムは屈折結像光学系を有する；を含む。

2. クレーム1の反射屈折光学系において、

前記第1光路折り曲げ鏡の反射面と前記第2光路折り曲げ鏡の反射面とは空間的に重複しないように位置決めされる。

3. クレーム2の反射屈折光学系において、

前記第1結像光学サブシステムを構成するすべてのレンズおよび前記第3結像光学サブシステムを構成するすべてのレンズは、単一の光軸に沿って配置される。

4. クレーム3の反射屈折光学系において、

前記第2結像光学系の倍率 $\beta_2$ は、以下の条件を満足する：

$$0.82 < |\beta_2| < 1.20$$

5. クレーム4の反射屈折光学系において、

前記第1中間像と前記第2結像光学サブシステム中の前記凹面反射鏡との間の光軸に沿った距離を $L_1$ とし、前記第2中間像と前記第2結像光学サブシステム中の前記凹面反射鏡との間の光軸に沿った距離を $L_2$ とすると、以下の条件を満足する：

$$|L_1 - L_2| / |L_1| < 0.15$$

6. クレーム5の反射屈折光学系において、

前記反射屈折光学系の倍率を $\beta$ とし、前記第1結像光学サブシステムの倍率を $\beta_1$ とすると、以下の条件を満足する：

$$0.20 < |\beta| / |\beta_1| < 0.50$$

7. クレーム6の反射屈折光学系において、

前記反射屈折光学系は、第1面側および第2面側の両側にテレセントリックな光学系であり、

前記第1結像光学サブシステムの最も像側の面とその射出瞳位置との間の光軸に沿った距離をEとし、前記第1結像光学サブシステムの最も像側の面から前記第2結像光学サブシステム中の前記凹面反射鏡までの光軸に沿った空気換算距離をDとすると、以下の条件を満足する：

$$|E-D|/|E| < 0.24$$

8. クレーム7の反射屈折光学系において、

前記第1中間像は、前記第1折り曲げ鏡と前記第2結像光学サブシステムとの間の光路中に形成され、

前記第2中間像は、前記第2結像光学サブシステムと前記第2折り曲げ鏡との間の光路中に形成される。

9. クレーム8の反射屈折光学系において、

前記反射屈折光学系を構成するすべてのレンズのうちの85%以上の数のレンズが単一の光軸に沿って配置される。

10. クレーム9の反射屈折光学系において、

前記第1折り曲げ鏡の反射面の仮想延長面と前記第2折り曲げ鏡の反射面の仮想延長面との交線は、前記第1結像光学サブシステムの光軸、前記第2結像光学サブシステムの光軸、および前記第3結像光学サブシステムの光軸と一点で交わるように設定される

11. クレーム10の反射屈折光学系において、

前記第2結像光学サブシステムは、少なくとも2枚の負レンズを有する。

12. クレーム11の反射屈折光学系において、

前記第1折り曲げ鏡は、前記第1結像光学サブシステムからの光束を前記第2結像光学サブシステムへ反射するための裏面反射面を有し、

前記第2折り曲げ鏡は、前記第2結像光学サブシステムからの光束を前記第3結像光学サブシステムへ反射するための裏面反射面を有する。

13. クレーム12の反射屈折光学系において、

前記反射屈折光学系は、前記第2面上における前記反射屈折光学系の基準光軸の位置から外れた位置に前記縮小像を形成する。

14. クレーム1の反射屈折光学系において、

前記第1結像光学系を構成するすべてのレンズおよび前記第3結像光学系を構成するすべてのレンズは、単一の光軸に沿って配置される。

15. クレーム1の反射屈折光学系において、

前記第2結像光学系の結像倍率 $\beta_2$ は、以下の条件を満足する：

$$0.82 < |\beta_2| < 1.20$$

16. クレーム1の反射屈折光学系において、

前記第1中間像と前記第2結像光学サブシステム中の前記凹面反射鏡との間の光軸に沿った距離を $L_1$ とし、前記第2中間像と前記第2結像光学サブシステム中の前記凹面反射鏡との間の光軸に沿った距離を $L_2$ とすると、以下の条件を満足する：

$$|L_1 - L_2| / |L_1| < 0.15$$

17. クレーム1の反射屈折光学系において、

前記反射屈折光学系の倍率を $\beta$ とし、前記第1結像光学サブシステムの倍率を $\beta$

- 1とすると、以下の条件を満足する：

$$0.20 < |\beta| / |\beta_1| < 0.50$$

18. クレーム1の反射屈折光学系において、

前記反射屈折光学系は、第1面側および第2面側の両側にテレセントリックな光学系であり、

前記第1結像光学サブシステムの最も像側の面と前記第1結像光学サブシステムの射出瞳位置との間の光軸に沿った距離を $E$ とし、前記第1結像光学サブシステムの最も像側の面から前記第2結像光学サブシステム中の前記凹面反射鏡までの光軸に沿った空気換算距離を $D$ とすると、以下の条件を満足する：

$$|E - D| / |E| < 0.24$$

19. クレーム1の反射屈折光学系において、

前記第1中間像は、前記第1折り曲げ鏡と前記第2結像光学サブシステムとの間の光路中に形成され、

前記第2中間像は、前記第2結像光学サブシステムと前記第2折り曲げ鏡との間の光路中に形成される。

20. クレーム1の反射屈折光学系において、

前記第1中間像は、前記第1折り曲げ鏡と前記第2結像光学サブシステムとの間の光路中に形成され、

前記第2中間像は、前記第2結像光学サブシステムと前記第2折り曲げ鏡との間の光路中に形成される。

21. クレーム1の反射屈折光学系において、

前記反射屈折光学系を構成するすべてのレンズのうちの85%以上の数のレンズが単一の光軸に沿って配置される。

22. クレーム1の反射屈折光学系において、

前記第1折り曲げ鏡の反射面の仮想延長面と前記第2折り曲げ鏡の反射面の仮想延長面との交線は、前記第1結像光学サブシステムの光軸、前記第2結像光学サブシステムの光軸、および前記第3結像光学サブシステムの光軸と一点で交わるように設定される

23. クレーム1の反射屈折光学系において、

前記第2結像光学サブシステムは、少なくとも2枚の負レンズを有する。

24. クレーム1の反射屈折光学系において、

前記第 1 折り曲げ鏡は、前記第 1 結像光学サブシステムからの光束を前記第 2 結像光学サブシステムへ反射するための裏面反射面を有し、

前記第 2 折り曲げ鏡は、前記第 2 結像光学サブシステムからの光束を前記第 3 結像光学サブシステムへ反射するための裏面反射面を有する。

25. クレイム 1 の反射屈折光学系において、

前記反射屈折光学系は、前記第 2 面上における前記反射屈折光学系の基準光軸の位置から外れた位置に前記縮小像を形成する。

26. 第 1 面の縮小像を第 2 面上に形成する反射屈折光学系は、

前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に配置されて、第 1 光軸を有する第 1 結像光学サブシステム、該第 1 結像光学サブシステムは屈折結像光学系を有する；

前記第 1 結像光学サブシステムと前記第 2 面との間の光路中に配置されて、凹面反射鏡と第 2 光軸とを有する第 2 結像光学サブシステム；および

前記第 2 結像光学サブシステムと前記第 2 面との間の光路中に配置されて、第 3 光軸を有する第 3 結像光学サブシステム、該第 3 結像光学サブシステムは屈折結像光学系を有する；

を含み、

そこにおいて、前記第 1 光軸と前記第 2 光軸とは互いに交差し、かつ前記第 2 光軸と前記第 3 光軸とは互いに交差している。

27. 第 1 面の縮小像を第 2 面上に形成する反射屈折光学系は、

前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に配置されて、第 1 光軸を有する第 1 結像光学サブシステム、該第 1 結像光学サブシステムは屈折結像光学系を有する；

前記第 1 結像光学サブシステムと前記第 2 面との間の光路中に配置されて、凹面反射鏡と第 2 光軸とを有する第 2 結像光学サブシステム；および

前記第 2 結像光学サブシステムと前記第 2 面との間の光路中に配置されて、第 3 光軸を有する第 3 結像光学サブシステム、該第 3 結像光学サブシステムは屈折結像光学系を有する；

を含み、

そこにおいて、前記第 1 光軸と前記第 3 光軸とは共通の軸上に位置する。

28. 投影露光装置は、

第 1 面と第 2 面との間の光路中に配置されて、前記第 1 面に配置される原版上のパターンを、前記第 2 面に配置されるワークピース上へ投影露光する投影光学系；

を含み、

前記投影光学系は、

屈折結像光学系を有する第 1 結像光学サブシステム；

凹面反射鏡を含む第 2 結像光学サブシステム；

屈折結像光学系を有する第3結像光学サブシステム；

前記第1結像光学サブシステムと前記第2結像光学サブシステムとの間の光路中に配置された第1折り曲げ鏡；

前記第2結像光学サブシステムと前記第3結像光学サブシステムとの間の光路中に配置された第2折り曲げ鏡；  
を含み、

そこにおいて、前記第1結像光学サブシステムは、前記第1結像光学サブシステムと前記第2結像光学サブシステムとの間の光路中に前記第1面の第1中間像を形成し、前記第2結像光学サブシステムは、前記第2結像光学サブシステムと前記第3結像光学サブシステムとの間の光路中に前記第1面の第2中間像を形成する。

29. クレイム28の投影露光装置において、

前記投影露光装置は、前記投影光学系に対して前記原版および前記ワークピースを同じ方向へ移動させながら前記原版上のパターンを前記ワークピース上へ投影露光する。

30. クレイム29の投影露光装置において、

前記第1折り曲げ鏡は第1反射面を有し、

前記第2折り曲げ鏡は第2反射面を有し、

前記第1および第2反射面は互いに空間的に重複しないように位置決めされる。

31. クレイム30の投影露光装置において、

前記第1および第2反射面は実質的に平面である。

32. クレイム29の投影露光装置において、

前記投影光学系は前記ワークピース上に前記パターンの縮小像を形成する。

33. クレイム29の投影露光装置において、

前記第1結像光学サブシステムおよび前記第3結像光学サブシステムのうちの少なくとも一方は開口絞りを含む。

34. クレイム29の投影露光装置において、

前記第1結像光学サブシステム中の光学部材は、直線状に延びた第1光軸に沿って配置され、

前記第2結像光学サブシステム中の前記凹面反射鏡は、第2光軸に沿って配置され、

前記第3結像光学サブシステム中の光学部材は、直線状に延びた第3光軸に沿って配置される。

35. クレイム29の投影露光装置において、

前記第1結像光学サブシステムと前記第3結像光学サブシステムは共通の光軸を有し、

前記第1面と前記第2面とは重力方向に直交している。

36. クレイム29の投影露光装置において、



前記第2結像光学サブシステムの倍率 $\beta_2$ は、以下の条件を満足する：

$$0.82 < |\beta_2| < 1.20$$

37. クレーム29の投影露光装置において、

前記投影光学系の結像倍率を $\beta$ とし、前記第1結像光学サブシステムの倍率を $\beta_1$ とすると、以下の条件を満足する：

$$0.20 < |\beta| / |\beta_1| < 0.50$$

38. クレーム29の投影露光装置において、

前記投影光学系は前記第1面側および前記第2面側にテレセントリックな光学系を有し、

前記第2結像光学サブシステム中の前記凹面反射鏡は、前記投影光学系の瞳面の近傍に配置される。

39. クレーム29の投影露光装置において、

前記第1中間像は、前記第1折り曲げ鏡と前記第2結像光学サブシステム中の前記凹面反射鏡との間の光路中に形成され、

前記第2中間像は、前記第2結像光学サブシステム中の前記凹面反射鏡と前記第2折り曲げ鏡との間の光路中に形成される。

40. クレーム39の投影露光装置において、

前記第1中間像および前記第2中間像は、前記第2結像光学サブシステムの光軸を挟んで反対側に形成される。

41. クレーム29の投影露光装置において、

前記第2結像光学サブシステムの光軸は、前記第1結像光学サブシステムの光軸および前記第3結像光学サブシステムの光軸と直交する。

42. クレーム41の投影露光装置において、

前記第2結像光学系の光軸は直線状に延びている。

43. クレーム29の投影露光装置において、

前記第1光路折り曲げ鏡の反射面の仮想延長面と前記第2光路折り曲げ鏡の反射面の仮想延長面との交線は、前記第1結像光学系の光軸、前記第2結像光学系の光軸、および前記第3結像光学系の光軸と一点で交わる。

44. クレーム29の投影露光装置において、

前記第1折り曲げ鏡は、前記第1結像光学サブシステムからの光束を前記第2結像光学サブシステムへ反射するための裏面反射面を有し、

前記第2折り曲げ鏡は、前記第2結像光学サブシステムからの光束を前記第3結像光学サブシステムへ反射するための裏面反射面を有する。

45. クレーム29の投影露光装置において、

前記第2面上における前記投影光学系の基準光軸の位置から外れた位置に前記第1面の像を形成する。

4 6. 投影光学系を介して原版上のパターンをワークピース上へ投影露光する露光方法は、

紫外領域の照明光を前記原版上の前記パターンへ導く工程；

前記パターンを介した前記照明光を第1結像光学サブシステムへ導いて前記投影原版上のパターンの第1中間像を形成する工程、前記第1結像光学サブシステムは屈折結像光学系を含む；

前記第1中間像からの光を第2結像光学サブシステムへ導いて第2中間像を形成する工程、前記第2結像光学サブシステムは凹面反射鏡を含む；

前記第2中間像からの光を第3結像光学サブシステムへ導いて前記ワークピース上に最終像を形成する工程、前記第3結像光学サブシステムは屈折結像光学系を含む；

前記第1結像光学サブシステムと前記第2結像光学サブシステムとの間の光路中に配置された第1折り曲げ鏡により前記第1結像光学系からの光を偏向させる工程；および

前記第2結像光学サブシステムと前記第3結像光学サブシステムとの間の光路中に配置された第2折り曲げ鏡により前記第2結像光学サブシステムからの光を偏向させる工程；

を含む。

4 7. クレーム4 6の露光方法において、

前記投影光学系に対して前記原版および前記ワークピースを同じ方向へ移動させながら前記原版上のパターンを前記ワークピース上へ投影露光する。

4 8. マイクロデバイスの製造方法は、

クレーム2 9の投影露光装置を用いたリソグラフィ工程を含む。

4 9. 第1面の像を第2面上に形成する結像光学系は、

前記第1面と前記第2面との間に配置された少なくとも1つの反射面を含み、

前記反射面は、金属反射膜と、該金属反射膜の上に設けられて前記金属反射膜からの反射光が有する偏光状態の差に起因する位相差を補正するための補正膜とを含む。

5 0. クレーム4 9の結像光学系において、

前記補正膜は、前記金属反射膜からの反射光が有する偏光状態の差に起因する位相差の角度特性を所望の分布にするように補正する。

5 1. クレーム5 0の結像光学系において、

前記補正膜は誘電体多層膜を有する。

5 2. クレーム5 1の結像光学系において、

前記金属膜はアルミニウムを含む。

5 3. クレーム5 2の結像光学系において、

前記反射面は前記反射面前後の光軸同士を交差させるための光路折り曲げ鏡に設けられる。

54. クレイム53の結像光学系において、  
前記結像光学系は、200nm以下の放射に基づいて、前記第1面の像を第2面上に形成する。
55. クレイム54の結像光学系において、  
前記第2面上における前記結像光学系の基準光軸の位置から外れた位置に前記第1面の前記像を形成することを特徴とする結像光学系。
56. クレイム49の結像光学系において、  
前記補正膜は誘電体多層膜を有する。
57. クレイム49の結像光学系において、  
前記金属膜はアルミニウムを含む。
58. クレイム49の結像光学系において、  
前記反射面は前記反射面前後の光軸同士を交差させるための光路折り曲げ鏡に設けられる。
59. クレイム49の結像光学系において、  
前記結像光学系は、200nm以下の放射に基づいて、前記第1面の像を第2面上に形成する。
60. クレイム49の結像光学系において、  
前記第2面上における前記結像光学系の基準光軸の位置から外れた位置に前記第1面の前記像を形成することを特徴とする結像光学系。
61. 投影光学系を用いて原版上のパターンをワークピースへ投影露光する投影露光装置は、  
前記投影光学系としてクレイム49の結像光学系を用いて、第1面に配置された前記原版の像を第2面に配置された前記ワークピースへ投影露光する。
62. マイクロデバイスの製造方法は、  
クレイム61の投影露光装置を用いたリソグラフィ工程を含む。
63. 投影光学系を用いて原版上のパターンをワークピースへ投影露光する投影露光方法は、  
前記投影光学系としてクレイム49の結像光学系を用いて、第1面に配置された前記原版の像を第2面に配置された前記ワークピースへ投影露光する工程を含む。
64. 第1面上に配置される原版上のパターンを第2面上に配置されるワークピースへ投影露光する投影露光装置は、  
前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置された少なくとも1つの反射部材を有する前記投影光学系、前記反射部材は、前記反射部材に対するP偏光成分とS偏光成分とが前記感光性基板に達する際に前記P偏光成分と前記S偏光成分との位相差が実質的に存在しないように、光を反射する；  
を含む。

65. マイクロデバイスの製造方法は、  
クレイム64の投影露光装置を用いたリソグラフィ工程を含む。
66. 第1面上に配置される原版上のパターンを第2面上に配置されるワークピースへ投影露光する投影露光方法は、  
少なくとも1つの反射部材を経由した光により前記パターンを前記ワークピースへ投影露光する工程、前記反射部材は、前記反射部材に対するP偏光成分とS偏光成分とが前記感光性基板に達する際に前記P偏光成分と前記S偏光成分との位相差が実質的に存在しないように、光を反射する；  
を含む。



本発明にかかる投影露光装置は、第1面と第2面との間の光路中に配置されて、前記第1面に配置される原板上のパターンを前記第2面に配置されるワークピース上へ投影露光する投影光学系を含む。前記投影光学系は、屈折結像光学系を有する第1結像光学サブシステム；凹面反射鏡を含む第2結像光学サブシステム；屈折結像光学系を有する第3結像光学サブシステム；前記第1結像光学サブシステムと前記第2結像光学サブシステムとの間の光路中に配置された第1折り曲げ鏡；前記第2結像光学サブシステムと前記第3結像光学サブシステムとの間の光路中に配置された第2折り曲げ鏡；を含む。前記第1結像光学サブシステムは、前記第1結像光学サブシステムと前記第2結像光学サブシステムとの間の光路中に前記第1面の第1中間像を形成し、前記第2結像光学サブシステムは、前記第2結像光学サブシステムと前記第3結像光学サブシステムとの間の光路中に前記第1面の第2中間像を形成する。

FIG. 1

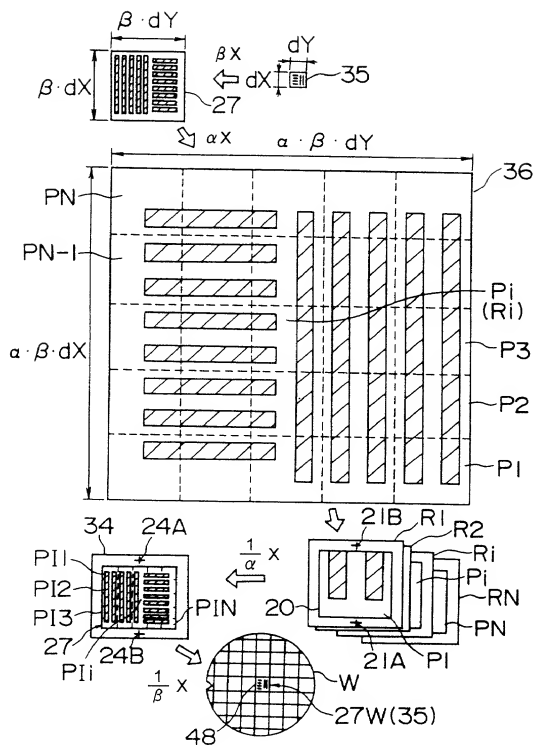


FIG. 2

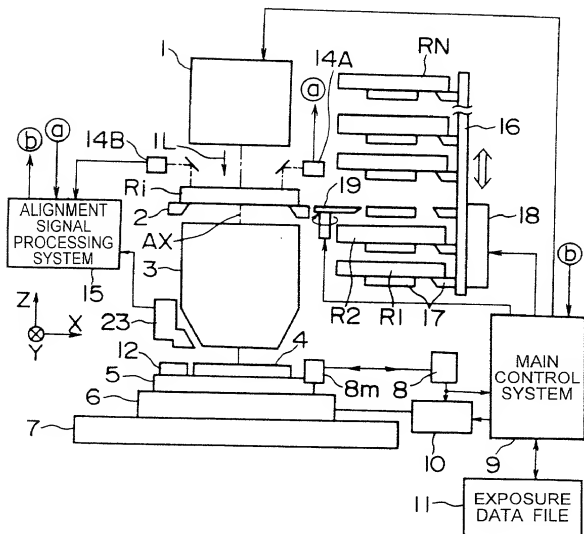


FIG. 3

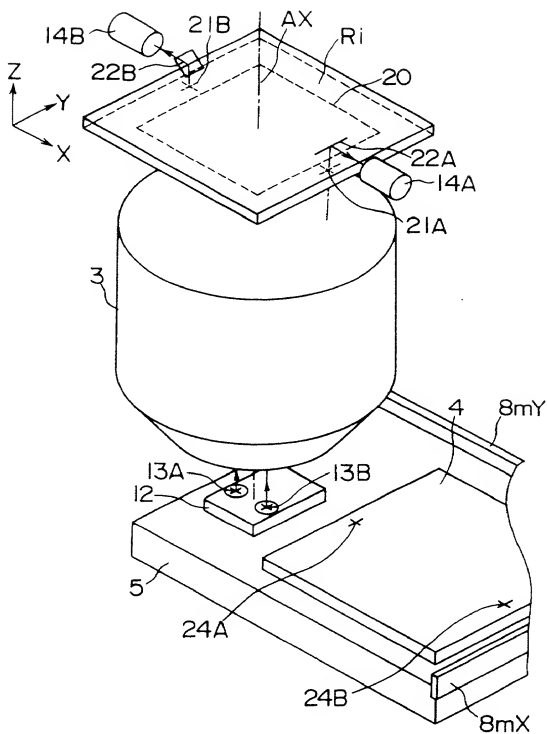




FIG. 4

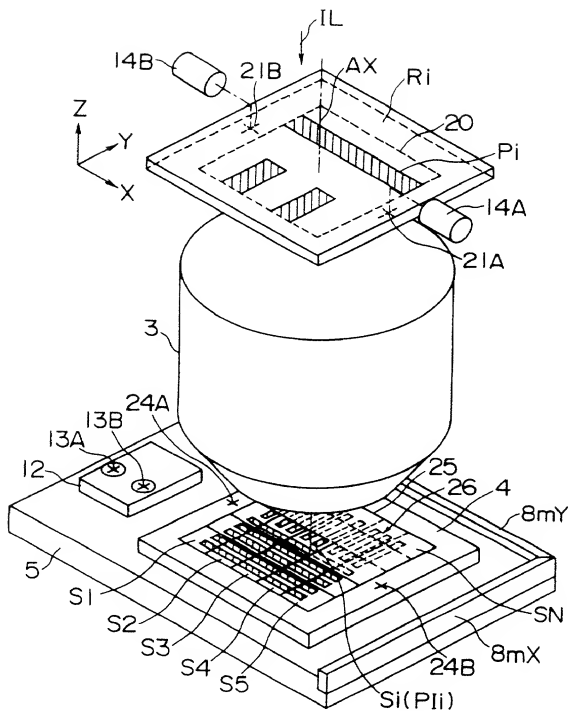


FIG. 5

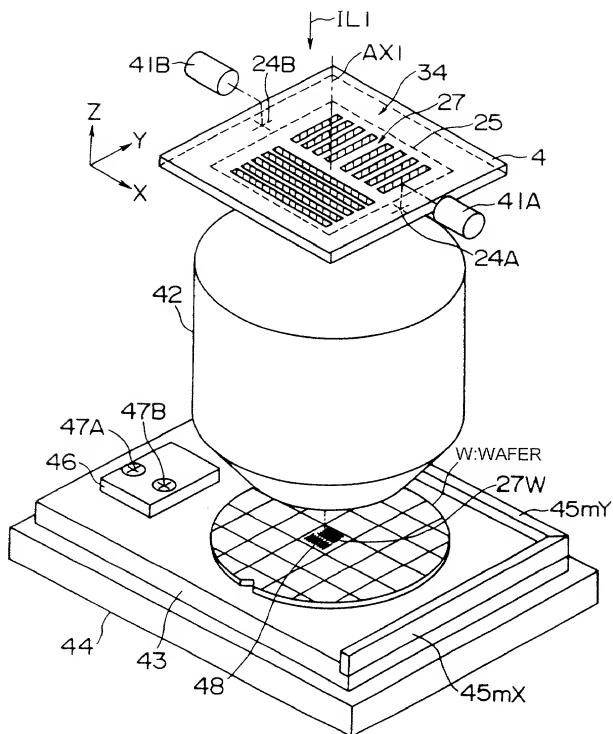


FIG. 6A

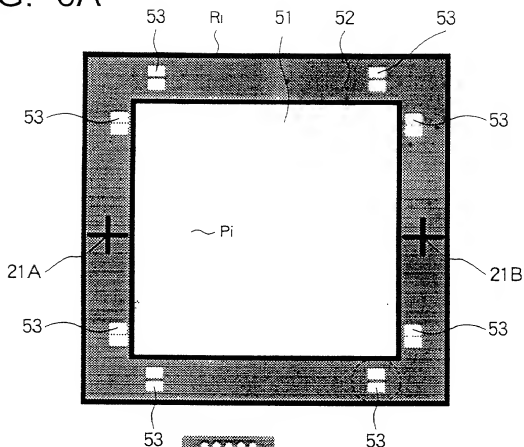


FIG. 6B

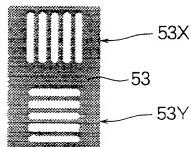


FIG. 6C

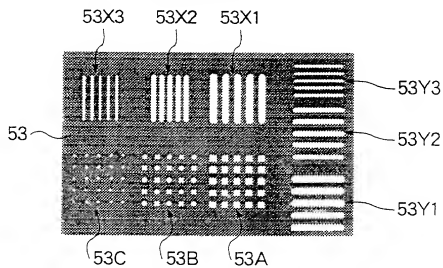


FIG. 7

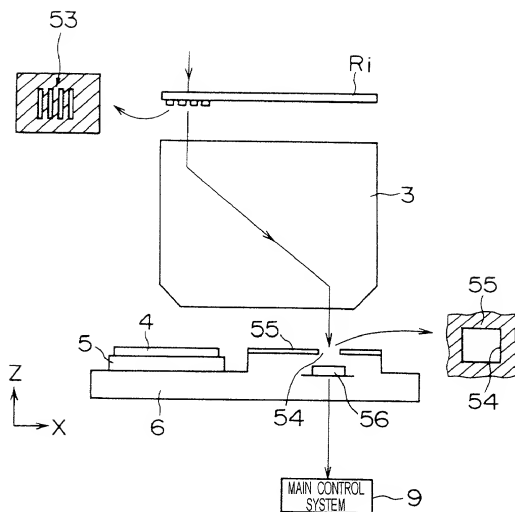


FIG. 8A

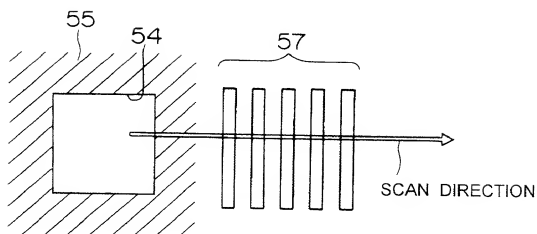


FIG. 8B

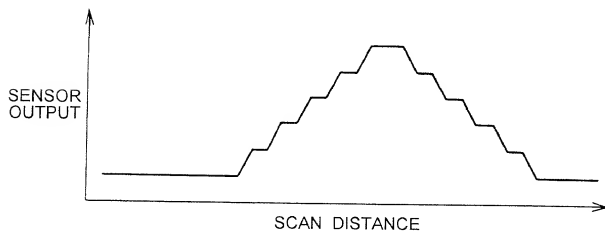
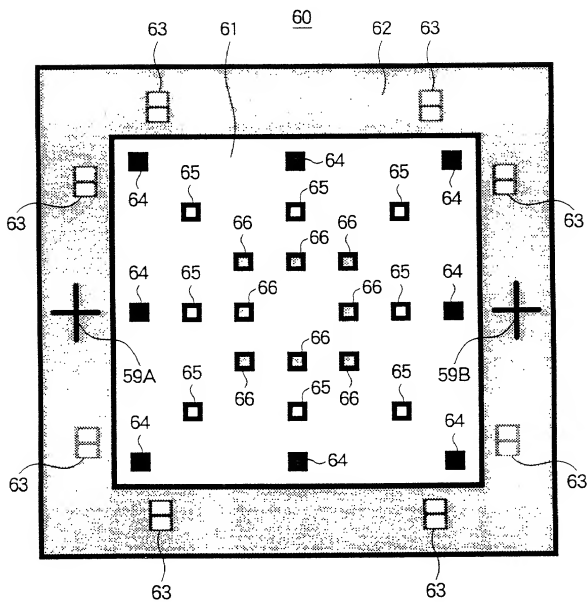


FIG. 9



09769832.012601

FIG. 10

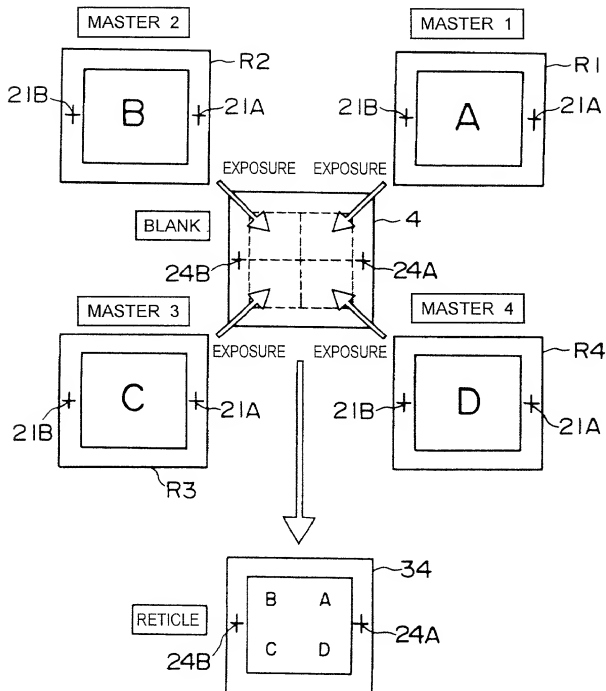


FIG. 11A

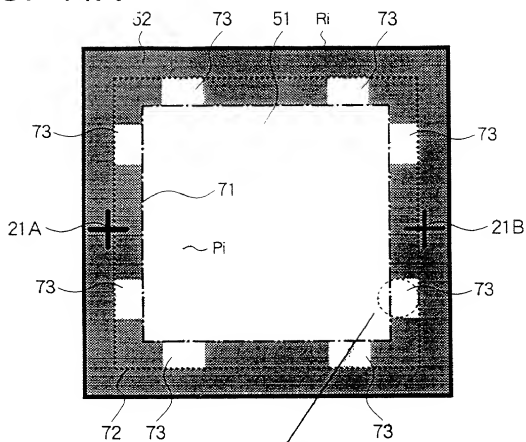


FIG. 11B

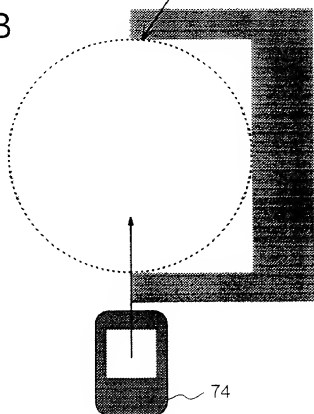
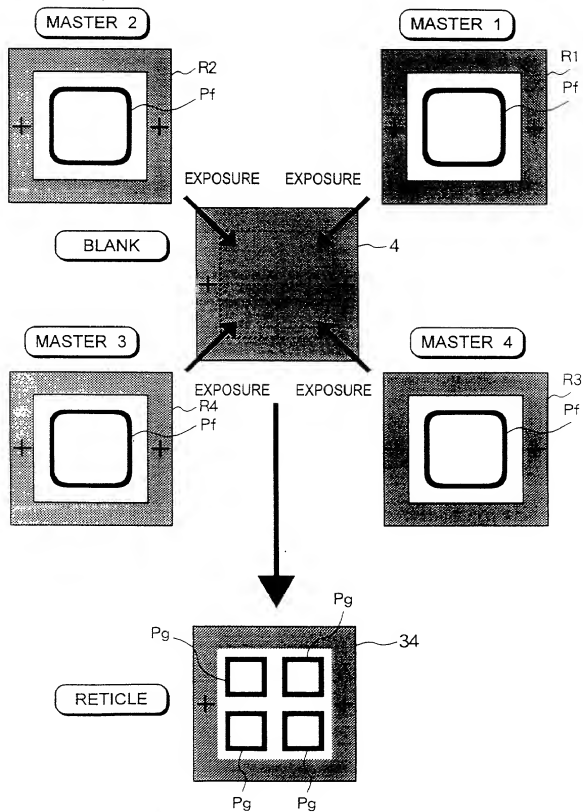




FIG. 12



09769822-012504

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99

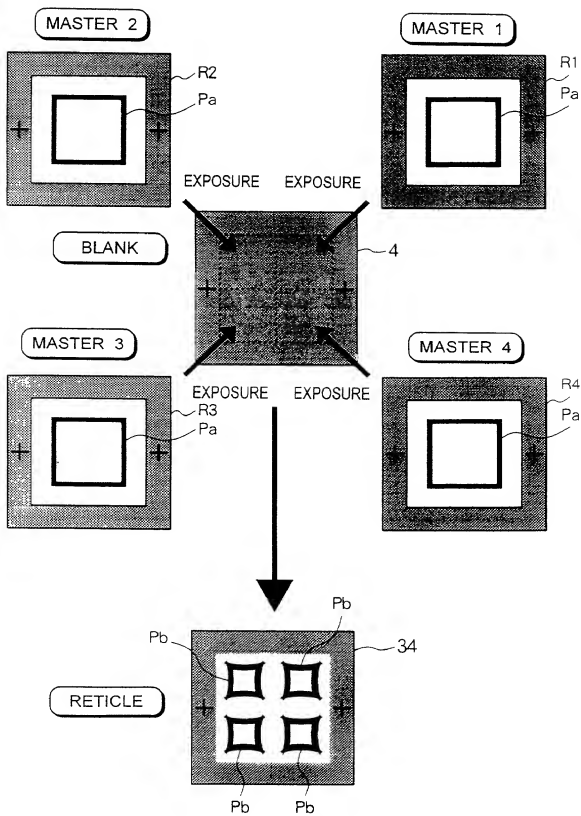


FIG. 14

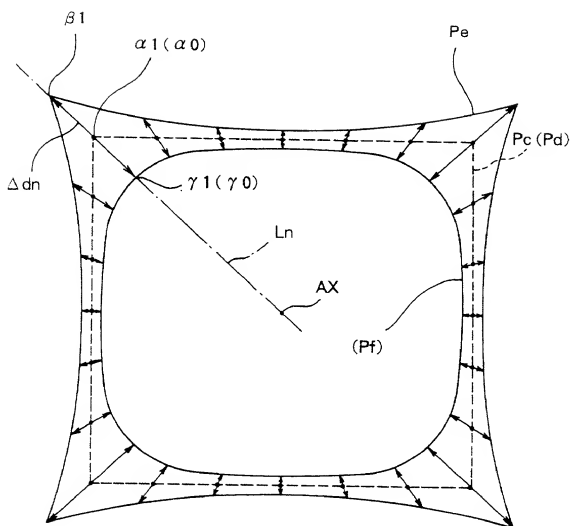


FIG. 15A

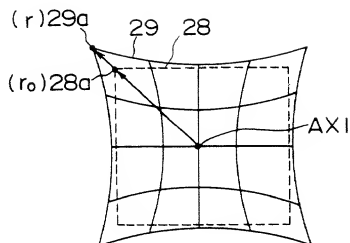


FIG. 15B

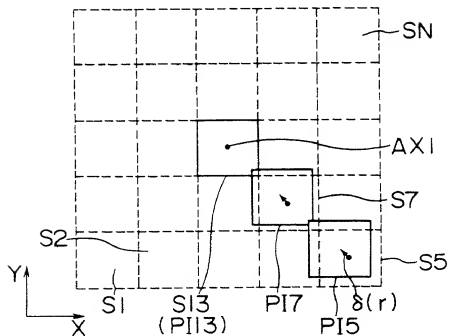


FIG. 16A

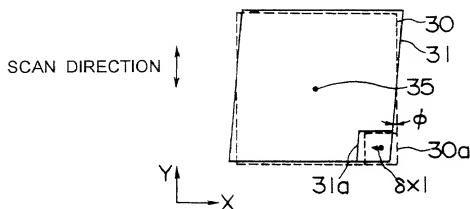


FIG. 16B

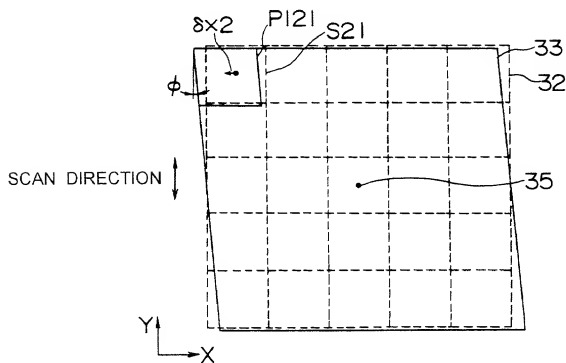


FIG. 17

